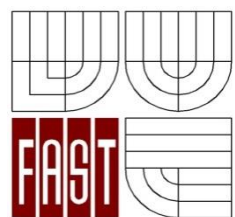


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

**NÁVRH NOVÝCH ZPŮSOBŮ HYDROIZOLAČNÍCH CLON A
METODIKY POSUZOVÁNÍ
DRAFT CURTAINS NEW WAYS OF WATERPROOFING AND
ASSESSMENT METHODOLOGIES**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Lenka Miková

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

BRNO 2013

Abstrakt

Gelové injektáže jsou novodobým, stále rozšířenějším, druhem sanace vlhkého zdiva, který v současnosti nachází své široké uplatnění především díky své relativní pracovní jednoduchosti, nenáročnosti a finální účinnosti. Při jejich aplikaci není nutno větších destruktivních zásahů do konstrukce a výsledná funkčnost takto odborně provedené hydroizolace, je na velmi vysoké úrovni. Samotná technologie aplikace těchto clon má ale svá technologická omezení, a proto vyvstala ve stavební praxi potřeba výzkumu a vývoje gelových infuzních clon s dodatečnými, přidanými vlastnostmi.

Vzhledem k neexistující jednotné metodice pro takovýto komplexní výzkumný proces, je náplní této bakalářské práce návrh metodického postupu pro vývoj nových gelových injektážních hmot, a jejich následné ověření účinnosti ve stavební praxi.

Klíčová slova

Degradace, hygroskopicitá, hydroizolace, injektáž, infúzní clona, sanace, vlhkost, voděodolnost.

Abstract

Gel injections are progressive and more and more widespread technology for wet masonry rehabilitation, which finds its use due to working simplicity, and final effectiveness.

In their application is not necessary to use strong destructive methods on construction and functionality of the final waterproofing is at a very high level. But the actual application of these technologies has technological limitations, and therefore arose in construction practice need of research new gel infusion with additional parameters and added functionality. Given the lack of a uniform methodology for such complex research process, the main aim of this thesis is proposal for methodological process for the research of new gel materials, and their later efficiency verification in the construction practice.

Keywords

Degradation, hygroscopicity, waterproofing, injection, infusion, rehabilitation, humidity, water resistance.

Poděkování

Tímto bych velice ráda poděkovala prof. Ing. Rostislavu Drochytkovi, CSc., MBA, jako vedoucímu mé bakalářské práce, především za jeho odborné vedení, za cenné připomínky a rady při vypracování této práce. Mimo to bych chtěla poděkovat i mé rodině a přátelům za podporu ve studiu.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....

podpis autora

Lenka Miková

Bibliografická citace

MIKOVÁ, Lenka *Návrh nových způsobů hydroizolačních clon a metodiky*, Brno, 2013.
S.57. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Obsah

1	CÍL	10
2	ÚVOD	11
3	TEORETICKÁ ČÁST	13
3.1	DEGRADACE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	13
3.1.1	Kamenivo	14
3.1.2	Stavební kámen	15
3.1.3	Cihlářské výrobky	16
3.2	VLHKOST STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	16
3.2.1	Hygroskopicitu stavebních materiálů	18
3.2.2	Voda působící na stavební objekty	18
3.2.3	Průzkum vlhkosti zdiva	20
3.3	DODATEČNÁ HYDROIZOLACE KONSTRUKCÍ	21
3.3.1	Účel sanace	21
3.3.2	Metody sanace vlhkosti	22
3.3.3	Metody mechanické	24
3.3.4	Metody elektroosmotické	27
3.3.5	Metody vzduchoizolační	27
3.3.6	Metody chemické	28
4	PRAKTICKÁ ČÁST	30
4.1	GELOVÉ INFÚZNÍ CLONY	32
4.1.1	Vhodná volba injektážního prostředku	32
4.1.2	Používané chemické báze infuzních prostředků	33
4.1.3	Provedení	33
4.1.4	Omezení technologie gelových infuzních clon	37
4.1.5	Výrobní společnosti	38
4.2	ZKUŠEBNÍ METODY	38
4.2.1	Stanovení vztlakovosti (ČSN 73 1357)	38
4.2.2	Stanovení okamžité vlhkosti (ČSN 73 1357)	38
4.2.3	Stanovení nasákavosti varem (ČSN EN 772-7)	39
4.2.4	Stanovení pórovitosti	39
4.2.5	Stanovení pevnosti v tahu za ohybu (ČSN EN 196-1)	39
4.2.6	Stanovení pevnosti v tlaku (ČSN EN 196-1)	40
4.2.7	Stanovení prostupu vodních par povrchovou úpravou (ČSN 73 2580)	40
4.2.8	Stanovení vodotěsnosti povrchové úpravy (ČSN 73 2578)	40
4.2.9	Hloubky průsaku tlakovou vodou (ČSN EN 12390-8)	40
4.2.10	Stanovení charakteristik vzduchových pórů (ČSN EN 480-11)	41
4.2.11	Stanovení vzduchové propustnosti	41
4.2.12	Elektronová rastrovací mikroskopie (REM mikroskopie)	41
4.2.13	Počáteční povrchová nasákavost	42
4.2.14	Rentgenová difrakční analýza (RTG)	42
4.2.15	Energodisperzní spektrometrie (EDS)	42
4.2.16	Stanovení přírodních radionuklidů	42
4.3	ZKUŠEBNÍ POSTUPY WTA	43
4.4	KVALITA PROVEDENÉ INJEKTÁŽE V PRAXI	44
4.5	NÁVRH METODIKY VÝZKUMU A VÝVOJE	45
4.5.1	Analýza vstupních materiálů	45
4.5.2	Testování a vývoj	48
5	ZÁVĚR	51
	Použitá literatura a normy	54
	Seznam tabulek	56
	Seznam obrázků	56
	Seznam použitých zkratk a symbolů	57

1 CÍL

V dnešní době se staly gelové injektáže v České republice a ve světě, rozšířeným a poměrně jednoduchým způsobem sanace zdiva poškozeného vlhkostí. Oblibu si tato metoda dodatečného vytvoření hydroizolační clony ve zdivu získala především pro svou jednoduchost, minimální časovou náročnost a finální účinnost.

Při jejich aplikaci není rovněž nutno větších destruktivních zásahů do konstrukce a výsledná funkčnost takto odborně provedené hydroizolace, je na velmi vysoké úrovni. Samotná technologie aplikace těchto clon má ale svá technologická omezení, a proto vyvstala ve stavební praxi potřeba výzkumu a vývoje gelových infuzních clon s dodatečnými, přidanými vlastnostmi.

Vzhledem k neexistující jednotné metodice pro takovýto výzkumný proces, je náplní této bakalářské práce návrh komplexního metodického postupu pro vývoj nových gelových injektážních hmot, a jejich následné ověření účinnosti ve stavební praxi.

2 ÚVOD

Na kterýkoliv stavební objekt v našem okolí působí celá řada negativních činitelů. Mezi něž patří například působení větru, sněhu, vody a mrazu. Většina staveb našeho klimatu se ale potýká prakticky vždy s působením vlhkosti. Vlhkost ve zvýšené míře, působící na stavební objekt a jeho jednotlivé součásti, může spolu s působením času vyvolávat degradaci materiálu. Degradace, třeba i jednoho stavebního materiálu zabudovaného do stavební konstrukce má za následek postupné snižování trvanlivosti a životnosti nejen samotného stavebního materiálu, ale i celé konstrukce, ve které je daný stavební materiál zakomponován. Pokud tato situace nastane, je nutno přistoupit k sanaci objektu. Jestliže se jedná o sanaci zaměřenou na obnovení, nebo zvýšení hydroizolačních vlastností konstrukce, sanační práce se provádí v místech stavby, která jsou zásadním vlivem namáhána působením vlhkosti. Takto provedené sanačních opatření v konečném důsledku sníží vlhkost konstrukce, nebo její části a tím omezí degradační procesy vlivem vlhkosti. Mezi nejčastější vlhkostně namáhané části objektu, patří soklové a podzemní části staveb.

V minulosti bylo v mnoha případech na našem území dodatečné snižování vlhkosti prováděno mechanickými metodami. Jednalo se především o podříznutí, nebo probourání zdiva v takovém rozsahu, aby mohla být do vytvořené spáry dodatečně vložena hydroizolace, které u mnohých poškozených objektů chyběla, popřípadě došlo ke ztrátě její životnosti. Dodatečným vložení hydroizolačního materiálu do zdiva došlo k vytvoření hydroizolační clony, které bránila dalšímu šíření vlhkosti. Všechna sanační opatření na tomto principu byla značně náročná nejen na čas, ale zejména na statiku budov. S touto souvislostí vzešel požadavek na návrh nových a méně náročných sanačních opatření.

Postupem času byla vynalezena a do praxe zavedena chemická metoda sanace vlhkého zdiva, tzv. metoda chemických infúzních clon. Ta spočívala ve vytvoření určitého množství vrtů ve zdivu, ve zvolené výšce vlhkého zdiva, které byly následně napouštěny speciálním roztokem, jež ve zdivu vyplnil a utěsnil póry v oblasti vrtů, díky čemuž následně došlo k vytvoření jednolitě hydroizolační clony. Tato metoda je v dnešní době díky své funkčnosti a relativně malé pracnosti aplikace velmi rozšířená nejen v ČR ale i v ostatních zemích Evropy.

Vzhledem k faktu, že dostupné materiály pro aplikaci infúzních clon mají své technologické limity, vyvstala potřeba výzkumu a vývoje infúzních clon s rozšířenými aplikačními a hydroizolačními vlastnostmi.

Samotnou analýzou technologie infúzních clon a návrhem metodiky výzkumu a vývoje nových materiálů pro praktickou aplikaci se zabývá tato bakalářská práce.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 DEGRADACE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Degradací materiálu rozumíme postupnou ztrátu jeho vlastností vlivem působení okolního prostředí. Na konstrukci působí řada agresivních látek z okolí a životnost konstrukce je tedy závislá především na životnosti a trvanlivosti jednotlivých materiálů.

Pojem „koroze“ se ovšem daleko častěji používá u kovů a proto se ve spojitosti se stavebními materiály vžil pojem „degradace“. Nejzávažnější degradační účinky na stavební materiál můžeme přisuzovat především chemickým vlivům. Degradaci nekovového materiálu mohou způsobovat ale také vlivy fyzikální, fyzikálně-chemické a biologické [7].

Drochytka v práci [7] definuje trvanlivost takto: „Trvanlivostí betonu rozumíme jeho odolnost vůči povětrnosti, únavě a opotřebení. V užším slova smyslu trvanlivostí u betonů rozumíme především mrazuvzdornost a odolnost proti působení atmosféry (kyselých dešťů apod.).“

Trvanlivostí celého stavebního díla tedy míníme dobu použitelnosti konstrukce při zachování deklarovaných vlastností. Ve stavební praxi se ovšem nejčastěji setkáváme s hmotami, které jsou látkami složenými, proto je důležité zdůraznit, že podmínkou jejich odolnosti je zejména odolnost jednotlivých částí. Odolnost každé látky je totiž jiná a v důsledku tohoto může dojít ke znehodnocení celé stavební hmoty, i pokud je napadena jen některá část stavební hmoty. Životnost tedy můžeme označit jako dobu, která uplyne od vzniku stavby až do jejího zchátrání. Přičemž se u stavby po celou dobu působení předpokládá běžná údržba.

Pozornost je nutné věnovat také životnosti konstrukce. Je to jakási proměnná veličina, která je závislá nejen na čase, ale především na činitelích působících na konstrukci.

Mezi hlavní činitele ovlivňující životnost konstrukce řadíme především statické návrhy, konstrukční pojetí staveb, konstrukční hmoty a v neposlední řadě také vliv prostředí a údržbu objektu. Řadíme zde ale i smršťení, dotvarování, únavu stavebního materiálu, účinky teplotních změn, deformace základových půd a základů, přetěžování objektu, ale také výrobní závady a nedostatky. Zabýváme-li se trvanlivostí stavebních konstrukcí, primární úlohu v trvanlivosti materiálů a s tím následně spojené i trvanlivosti a životnosti celé stavební konstrukce, mají materiálové vlastnosti. Trvanlivost tedy považujeme za schopnost stavebních materiálů odolávat

prostředí, ve kterém působí, popřípadě ve kterém jsou uloženy, bez výrazného snížení mechanických vlastností po celou dobu předpokládané funkce. K degradaci a poškozování stavebních materiálů dochází zejména u špatně provedených nebo nedostatečně ošetřovaných staveb. [7]

Nejčastější degradace stavebních materiálů je spojená s růstem krystalů ve hmotě. Jde o fyzikálně-chemickou degradaci, kdy jsou roztoky solí transportovány do pórů při současném odpařování vody. Tím dochází ke vzniku nasyceného roztoku a soli začínají krystalizovat. Po vypaření vody dojde k vykrystalizování solí, které působí tlakem na stěny pórů a způsobují porušení materiálu. K porušení materiálu může dojít i při rekrystalizaci solí, kdy mohou vznikat sloučeniny s větším počtem molekul vody. Pohyb kapalných i plynných látek je v porézním materiálu závislý na difúzi, a jelikož jde o velice pomalý proces, agresivita látek se může na materiálu projevit až po několika letech.

Míra poškození materiálu je také závislá na teplotě, kdy se zvyšující se teplotou se zvyšuje i pohyblivost molekul a iontů, což má za následek vyšší reakční rychlosti. Poškození ale závisí i na koncentraci agresivní látky v materiálu a množství vody v kapalném nebo plynném médiu, protože látky v tuhém skupenství spolu přímo nereagují. [8]

3.1.1 Kamenivo

Jak již bylo zmíněno, většina stavebních materiálů je látkami složenými a proto je důležité věnovat pozornost jednotlivým složkám stavebního materiálu, stejně je tomu tak i u kameniva. Kamenivo je hlavní a nepostradatelnou složkou betonu. Mnohá kameniva, ale nejsou zcela vhodná do konstrukcí kvůli své degradaci. Svou degradací následně způsobují i již zmiňovanou ztrátu trvanlivosti a živostnosti celé konstrukce.

Chemickou degradaci kameniva můžeme rozdělit do tří základních procesů:

- Dojde k vyluhování rozpustných složek v kamenivu vodou
- Dojde ke vzniku objemových sloučenin
- Dojde ke vzniku rozpustných sloučenin

Poškozením kameniva některým z těchto procesů může mít za následek zvýšení porozity, snížení pevnosti, ztrátu hmotnosti a také vzniku trhlin a drcení. [8]

3.1.2 Stavební kámen

Důležitým stavebním materiálem je i kámen. Z tohoto druhu materiálu se dříve vystavovaly celé části stavebního objektu a dodnes je stále součástí např. nově rekonstruovaných staveb nebo jejich částí. Kámen dobře odolává poškození nejen mechanickému, ale je dostatečně odolný i proti působení vnějších vlivů. Tato odolnost závisí zejména na druhu a složení kamene. K často používaným stavebním patří žula, vápenec, pískovec, opuky a mramor. S působením času dochází k narušování struktury, které vede k nevratným změnám a následnému rozpadu. Vhodnou péčí a ošetřováním lze rozpad kamene oddálit.

Stavební kámen nejvíce degraduje fyzikálními vlivy, mezi které patří zejména působení vysokých nebo nízkých teplot a vlhkosti. Kámen je hornina, které se skládá z několika různých složek, které mají rozdílnou teplotní roztažnost a různou tepelnou vodivost, což má za následek vysoké teplotní rozdíly mezi středem a povrchem kamene. Tato vlastnost je zcela nevhodná např. při požáru, kdy působením vysokých teplot dochází k tvorbě trhlin a tím k celkovému snížení pevnosti.

Nežádoucí vlastností kamene je i jeho pórovitost, díky které se do kamene dostává vlhkost a voda. Ta se volně pohybuje v pórech a při přechodu na led zvětšuje svůj objem až o 9 %, čímž poškozuje kámen krystalizačním tlakem. Naopak voda proudící v pórech působí na stěny pórů a mechanicky je poškozuje tzv. abrazí. Pevné částičky vzniklé abrazí z rozrušených stěn pórů jsou unášeny proudem vody. Tento jev se nazývá erozí. Jde tedy o odlupování malých částic cementového tmele.

Působením agresivních látek a jejich reakcí s okolním prostředím je kámen porušován chemicky. Kámen je vystaven působení okolního prostředí, ve kterém se vyskytují v ovzduší chemické složky, ve vodě rozpuštěné soli a všechny tyto látky, které na horninu působí, spolu reagují, a vytvářejí nové sloučeniny, které jsou mnohdy lépe rozpustné, nebo nerozpustné vůbec s daleko větším molárním objemem.

U kamene nesmíme zapomenout ani na biologické poškození. Tím se rozumí zejména působení organismů, které narušují kámen mechanicky, například při růstu kořenového systému, nebo také chemicky, pokud živočišné organismy, které na něj působí, vylučují látky vedoucí k poškození horniny. [8]

3.1.3 Cihlářské výrobky

Cihlářské výrobky můžeme zařadit k nejpoužívanějším stavebním materiálům na našem území. Ve stavebnictví se cihlářské výrobky používají nejčastěji jako zdící materiál, nebo jako střešní krytina. Cihelné zdivo je buď opatřeno omítkou, nebo se používá i neomítnuté lícové zdivo.

K důležitým vlastnostem cihlářského střepu patří zejména pevnost, porozita, absorpce vody a obsah solí ve střepu. Tyto parametry je velice důležité kontrolovat, protože jejich nesplnění nebo překročení může způsobovat poškození cihelného výrobku.

Nejdůležitější vlastností je porozita. Ta je rozdílná podle složení a způsobu výpalu. Na množství, velikosti a druhu pórů v cihelném střepu je závislá zejména nasákavost, která se u běžné pálené cihly pohybuje od 25 do 35 %. Z tohoto důvodu je důležité do exteriéru používat výrobky z hutného střepu, který má nízkou nasákavost. Výrobky s velkým množstvím pórů mají vysokou nasákavost a při působení mrazu dochází k jejich porušení krystalizačním tlakem.

Cihelný střep obsahuje také vysoké množství solí. Nejčastěji zde nacházíme soli rozpustné a CaCO_3 (uhličitan vápenatý), pak i sloučeniny jako je kalcit (CaCO_3), sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), síran hořečnatý (MgSO_4) a mnohé jiné sloučeniny, které způsobují tzv. výkvěty. Nežádoucí je i obsah oxidu vápenatého (CaO), jehož zrna v cihlářském střepu vytvářejí tzv. cicváry. Ty ve styku s vodou z malty vytváří hydroxid vápenatý (Ca(OH)_2), ten zvětšuje svůj molární objem, a pokud je pod povrchem výrobku může dojít k odloupenutí. [8]

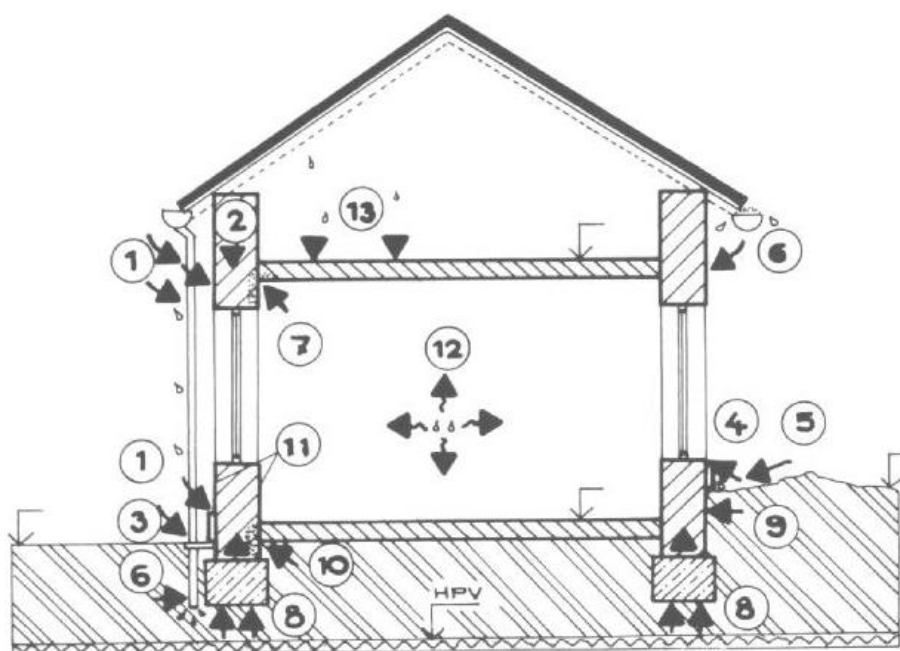
3.2 VLHKOST STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Z poznatků je tedy zřejmé, že nejnepříznivější vliv na stavební materiál a tedy i celou stavební konstrukci má působení okolního prostředí a to zejména působení vlhkosti. Vlhkost na konstrukci působí neustále, nelze totiž dosáhnout stavu absolutně suchého vzduchu a to ani v interiéru konstrukce.

Skupenství vody, která vniká do stavebních konstrukcí je hned několik. Mezi ty základní patří především skupenství tekuté (déšť, tající sníh) a plynné (vodní pára). Nejdůležitější činitele můžeme vidět na obrázku 1.

Hlavní příčinou vlhnutí staveb je pórovitá struktura stavebních hmot a jejich schopnost přijímat vodu. Určité množství vlhkosti v konstrukcích nemusí být pro stavbu samotnou na obtíž a z hlediska vnitřního mikroklimatu v budovách může být i pozitivním faktorem.

Za nevhodnou pak považujeme takovou vlhkost, kdy dojde k jejímu hromadění, tudíž je příčinou deградаčních procesů a zhoršuje vlastnosti i funkčnost stavebního díla. [2]



Obrázek 1: Příčiny vlhnutí zdiva [1]

1 - dešťová voda pronikající z boku, stékající po povrchu; 2 –volná voda pronikající stavebními vadami; 3 –volná voda vnikající do zdiva špatným stavebním detailem; 4 –voda odstříkující; 5 –voda stékající volně po povrchu; 6 – špatný stav instalací dešťových svodů; 7 –kondenzace v místech nedostatečné tepelné izolace; 8-voda vztlínající z podzákladí; 9 –voda vnikající do zdiva z boků; 10 –s vodou do konstrukce pronikají i rozpustné soli; 11 –voda hygroskopická; 12 –zvýšování vlhkosti v interiéru ; 13 –stavební vlhkost vnášená mokřinami procesy

K nejčastějším příčinám vlhnutí stavebního objektu patří změna jeho provozních parametrů, se kterou může být spojena i změna vlhkosti vzduchu a teploty uvnitř objektu na které není stavba dimenzována. K dalším příčinám můžeme zařadit i nevhodné stavební úpravy, ke kterým patří především zazdění větracích průduchů nebo použití nepropustného materiálu na vnější lícové straně konstrukce. I nedostatečná údržba objektu může vést ke zvýšení vlhkosti konstrukce. Jako další příčiny zvýšené vlhkosti můžeme považovat změnu systému vytápění a možné zvýšení hladiny podzemní vody. [2]

3.2.1 Hygroskopicita stavebních materiálů

Jednou z mnoha příčin vlhnutí materiálu je i jeho hygroskopicita. O hygroskopickém materiálu hovoříme tehdy, pokud obsahuje soli s hygroskopickou vlastností. Tyto soli mají schopnost přijímat vodu z okolního vzduchu, a proto jsou v jakémkoliv stavebním materiálu velkou nevýhodou.

Zdrojem hygroskopických solí v materiálu je především tvrdá voda vztlínající z podzákladí, chemické látky vyluhované touto vodou, působení vody z nasolených komunikací, deště s obsahem oxidu siřičitého, uhličitého nebo uhelnatého. Vlhkost může být ovšem zvyšována a uchovávána i houbami a plísněmi, které se v objektu mohou vyskytovat. Ale například i působení kyselých dešťů může ve zdivu způsobovat chemicky neutrální až mírně kyselé prostředí, které je vhodné pro růst určitých druhů mikroorganismů jako jsou plísně, bakterie a řasy. [2]

3.2.2 Voda působící na stavební objekty

Zdrojem vlhkosti působící na stavební objekt je voda, a to zejména ve formě deště, sněhu a vodní páry. Celkově tedy můžeme vodu, jež působí na stavební objekty rozdělit na:

- Voda srážková
- Voda kapilární
- Voda kondenzovaná
- Voda působící hydrostatickým tlakem

Voda srážková

Za vodu srážkovou považujeme nejen dešťovou vodu, ale i sníh a jeho formy. Nejčastěji se voda srážková dostává do stavebního objektu především formou dešťových kapek. Prioritní podmínkou ochrany proti srážkové vodě je vhodná střešní krytina a správně zakomponované klempířské prvky.

Je zapotřebí věnovat také pozornost srážkové vodě hnané větrem. Tato srážková voda totiž za spolupůsobení větru, dosahuje velmi silných nárazů vodních kapek na zdivo, kapky působí za silného tlaku, a proto voda proniká do velké hloubky zdiva. Srážková voda působící takto na stavební konstrukci způsobuje provlhnutí, které je závislé především na nasákavosti stavebního materiálu, intenzitě a době trvání deště, ale také na rychlosti větru.

Oproti tomu voda srážková odstříkující působí na spodní část stavby a v jeho blízkém okolí asi v pásmu 0-600 mm nad terénem. Zde je důležitá úprava povrchu fasády, její provedení a materiál, ze kterého byla zhotovena. Z tohoto důvodu by měla být spodní část stavby dostatečně chráněna například oplechováním či vhodně zvoleným obkladem s minimální nasákavostí.

Mnoho nepříznivých účinků má i voda povrchová, která vzniká odtokem napršené vody po terénu. Povrchová voda působí nepříznivě především při nevhodných povrchových úpravách terénu, mezi které můžeme považovat hlavně nesprávné vyspádování terénu v okolí stavby, nedostatečného nebo špatného spádu okapového a pěšího chodníku i komunikace. Především z těchto důvodů, je vhodné odvést povrchovou srážkovou vodu od objektu v co největší vzdálenosti. [2]

Voda kapilární

Voda kapilární neboli vztlínající se do stavební konstrukce dostává hlavně díky terénu, který konstrukci obklopuje v okolí spodní části stavby. Tato voda se do konstrukce dostává, i když základová spára není v přímém kontaktu s hladinou podzemní vody. Intenzita vlhnutí zdiva vztlínající vodou je závislá především na nasákavosti stavebního materiálu základových konstrukcí a zdiva pod úrovní terénu, ale také na druhu, kvalitě a stáří provedené hydroizolace. [2]

Voda kondenzovaná

V praxi se v podstatě nikdy nesetkáme s absolutně suchým vzduchem, proto je nutné počítat s kondenzací vodní páry a tato vodní pára může kondenzovat v základech, uvnitř i vně objektu i v podzemní části stavby.

Pokud je překročena teplota rosného bodu ¹ přechází část vodní páry do tekutého skupenství. Zkondenzovaná voda se sráží na chladných místech materiálů, které mají nižší teplotu, než je rosný bod páry ve vzduchu.

Nejběžnějšími obytnými místnostmi kde vodní páry vznikají, jsou např. koupelny, kuchyně a místnosti ve kterých dochází k praní, žehlení nebo sušení prádla.

¹ Teplota rosného bodu je taková teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami a pokud teplota klesne pod tento bod nastává kondenzace.

Další zkondenzovanou vodu můžeme najít u neizolovaných nebo špatně izolovaných instalačních a teplovodních potrubí, kde se vysrážená vlhkost ihned vsakuje do okolního materiálu. Mezi největší a nejzávažnější problém můžeme považovat nedokonalé a nepravidelné větrání místností, a to zejména místností v suterénu. [2]

Voda působící hydrostatickým přetlakem

Jako vodu, jež má na stavební dílo negativní účinky řadíme i takovou, která působí na konstrukci hydrostatickým přetlakem. Vodou působící na konstrukci hydrostatickým přetlakem můžeme rozumět takový druh vody, která z pórů zeminy pronikla za působení gravitace do základových konstrukcí. Tato situace nastává především při dlouhodobějších deštích a při tání sněhu. Voda prostupuje zeminou, ale pokud narazí na nepropustnou nebo méně propustnou vrstvu zastaví se a začne hledat jinou cestu úniku. Tímto způsobem začíná voda gravitační působit na zeminu a konstrukce jako voda tlaková. Tento druh vody nejčastěji působí v podzákladích a na hydroizolaci stavby, která ve většině případů není provedena kvalitně nebo není navržena na tyto účinky. Při běžném geologickém průzkumu tlakovou vodu nenalezneme, ale můžeme si povšimnout nepropustné vrstvy zeminy v okolí stavby, která může tlakovou vodu způsobovat svou nepropustností.

Nejlepší prevencí a zabezpečením proti působení hydrostatického tlaku gravitační vody je provedení drenážního systému v okolí stavby. Můžeme tím tak předejít dodatečným a pracným zásahům v budoucnu, které bývají mnohdy daleko nákladnější. [2]

3.2.3 Průzkum vlhkosti zdiva

Rozhodující degradační účinky na zdivo celé konstrukce má tedy zejména vlhkost, proto je důležité umět tento parametr stanovit.

Průzkum vlhkosti zdiva může být proveden jednou ze dvou základních metod:

- Nedestruktivní metodou
- Destruktivní metodou

Průzkum celé stavby je důležitý pro správné stanovení sanační metody, přesné požadavky pro průzkum stavby určuje norma ČSN P 73 0610 (Hydroizolace staveb – sanace vlhkého zdiva – základní ustanovení). Norma stanovuje především návrh a provádění sanačních metod, zabývá se také samotným projektem sanace a kontrolou jakosti provedených sanačních prací.

Nedestruktivní stanovení vlhkosti

Při průzkumu vlhkosti nedestruktivní metodou se využívá elektrických měřicích přístrojů, především přístroje založené na měření odporu nebo elektrické kapacity. K dražším nedestruktivním metodám patří využití metody radiometrické nebo použití termovize. Pro stanovení vlhkosti zdiva a nehomogenních materiálů výsledky nebývají dostatečně přesné. Proto je z praktických důvodů ideální používat tuto metodu stanovení vlhkosti v kombinaci s jinou metodou, například hmotnostní. Nedestruktivní metody lze rozdělit do dvou skupin. A to na metody klasické, u kterých používáme běžné přístroje a na metody novější u kterých nejsou přístroje pro stanovení vlhkosti běžně k dispozici.

Destruktivní metoda zjišťování vlhkosti

Při destruktivních metodách odebíráme vzorek v různých výškách i hloubkách, z míst, kde je viditelné vlhnutí zdiva, nebo kde je konstrukce pravděpodobně vlhkostně namáhána, z vnější i vnitřní strany, z nadzemních i podzemních stěn. Vlhkost se stanovuje laboratorně hmotnostní metodou. [3]

3.3 DODATEČNÁ HYDROIZOLACE KONSTRUKCÍ

Velice nepříznivý vliv na celé stavení dílo je tedy již mnohokrát zmiňovaná vlhkost. Z tohoto důvodu je tedy nutné věnovat pozornost dodatečnému snižování vlhkosti konstrukce. Na základě požadavků snížení vlhkosti některé z částí stavební konstrukce byla vyvinuta celá řada metod, které se zabývají dodatečným snižováním vlhkosti. Metody dodatečného snižování vlhkosti se v převážné míře týkají zdiva a jsou obecně nazývány jako sanace. Za sanační práce většinou považujeme takové, které se zabývají dodatečnou izolací a vysušením zdiva prováděné většinou v přízemní části objektu. [1]

3.3.1 Účel sanace

Hlavním cílem sanace je především zabránění, nebo alespoň zpomalení procesu degradace stavebního materiálu. [5]

Další možnou poruchou zapříčiněnou vlhkostí je i degradace omítky a odpadnutí krycí vrstvy betonu. Mezi nejvíce namáhané části staveb patří zejména soklové a štítové části domů, zděné venkovní opěrné stěny apod.[2]

Výsledkem sanace by tedy mělo být výrazné a trvalé snížení obsahu vlhkosti ve zdivu stavby, ať už jde o zdivo podzemní, nadzemní nebo i o zdivu souvisejících konstrukcí. Požadujeme zároveň takové podmínky, aby stavební konstrukce nebo materiál dosáhli požadovaných tepelněizolačních vlastností. [1]

3.3.2 Metody sanace vlhkosti

Vlhkost obsažená v konstrukci spolu s působením mrazu vede často k deformačním procesům, které mohou následně způsobovat statické poruchy, narušení bezpečnosti, nebo dokonce rozpad materiálu a tím postupný rozpad celé konstrukce. Voda přechází v led v kapilárách nejdříve při $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a to proto, že se v kapilárách nachází roztok. Teploty, při kterých se začne vytvářet led, závisí na velikosti kapilár. Ledová tříšť se tedy nejprve vytváří ve větších kapilárách a tlačí se do menších kapilár. Tím postupně dochází ke zvětšování objemu při přechodu vody v led (asi o 9 %) a vzniklé krystalizační tlaky podle Pytlíka [4] dosahují až 200 MPa. Poté co led roztaje, u materiálu zůstává až 1/3 původního roztažení. Z toho může být zřejmé, že vlhkostně jsou nejvíce namáhány konstrukce v suterénu zdiva.

U tohoto typu konstrukce se v dnešní době předpokládá použití vhodné hydroizolace, která zabraňuje zejména vztlínání vlhkosti z podzákladí. Počátek používání hydroizolací se datuje už před několika stovkami let.

Příkladem může být lepenková hydroizolace. S jejím užíváním jako hydroizolace se započalo již okolo roku 1890. V této době se ovšem izolovalo jen obvodové zdivo a tehdejší hydroizolace byla složena ze dvou lepenek a tří asfaltových potěrů. Skladbu této hydroizolace můžeme ovšem zaznamenat ještě v 60. letech 20. století. Životnost této izolace byla oproti životnosti celé konstrukce poměrně nízká (předpokládaná životnost hydroizolačního materiálu je maximálně 30 let), proto většinou byla a je příčinou propustnosti a tedy i vlhnutí zdiva. [1]

V počátku provádění dodatečných hydroizolací stály metody mechanické, které spočívaly v probourání zdiva a dodatečného vložení hydroizolace. Jednalo se o metody časově i finančně náročné. S postupem času se tedy přešlo k dnes se již velice rozvíjejícím metodám chemickým. Tyto metody spočívají ve vytvoření vrtů ve zdivu a vpravení injektážního materiálu, který se rozplyne ve zdivu a tím vytvoří dodatečnou hydroizolační clonu.

Sanační metody tedy můžeme podle základního kritéria rozdělit na metody přímé a metody nepřímé. [2]

Přímá metoda

U přímé metody sanace vlhkého zdiva se požaduje zabránění šíření vlhkosti v konstrukci a dalšímu pronikání vlhkosti do konstrukce. Základní principy přímé sanace dle Vlčka v práci [2] vlhkého zdiva:

- Vkládání hydroizolace do ručně proříznutých spár zdiva nebo do strojně probouraných a provrtaných otvorů ve zdivu.
- Dalším způsobem je infúzní a tlakové napouštění zdiva chemickými látkami, asfaltovými suspenzemi, roztaveným parafínem, atd.
- Využití a instalace elektroosmózy.
- Provedení vzduchoizolačních systémů, mezi které patří především větrané štoly, kanálky, mezery a dutiny. [2]

Nepřímá metoda

Další sanační metodou je metoda nepřímé sanace vlhkého zdiva, kdy dochází zejména ke snížení hydrofyzikálního namáhání konstrukce. Základní principy nepřímé sanace vlhkého zdiva jsou:

- Odvodnění horninového prostředí.
- Úprava sklonu a povrchu terénu v okolí konstrukce a odvedení srážkové vody dříve než se dostane k patě zdi.
- V okolí objektu můžeme v horninovém prostředí vytvořit hydroizolační clonu nebo nepropustnou bariéru (injektáž, štětová stěna).
- Nucené a přirozené větrání vnitřních prostor konstrukce nejlépe současně se sušením vnitřních povrchů. [2]

Doplňkové metody

Základní sanační metody jsou velice často doplněny jinými metodami sanace, které nazýváme doplňkovými metodami. I tyto doplňkové metody můžeme dále rozdělit na přímé doplňkové metody (zde zařídíme povlaky a vrstvy z hydroizolačních materiálů) a metody nepřímé (volba sanačních omítek a provádění preventivních nátěrů). [2]

3.3.3 Metody mechanické

Jednou z metod jak dodatečně snižovat vlhkost objektu je metoda mechanická. Tyto metody patřily k metodám nejrozšířenějším tudíž i nejpoužívanějším. K bezproblémovému provedení a navázání hydroizolace musí být ovšem spára přístupná z obou stran a vložená hydroizolace musí navazovat na hydroizolaci podlahy, popřípadě na svislou hydroizolaci obvodového zdiva.

Nejběžnějším hydroizolačním materiálem využívaným při těchto metodách jsou asfaltové pásy, pásy z PVC, nerezavějící plechy a polyetylenové fólie, které při správném provedení spojují zabrání průnikům vody a difuzi vodní páry. [2]

Podřezávání

Podstatou je instalace hydroizolační bariéry do strojově, popřípadě ručně probouraného zdiva. Využití mechanických metod při sanaci vlhkého zdiva spočívá ve vodorovném podřezání zdiva, čímž se vytvoří spára, do které se následně vkládá hydroizolace. K mechanickým sanačním metodám řadíme ruční podřezávání, podřezávání řetězovou, kotoučovou a lanovou pilou.

- Ruční podřezávání - Metodu ručního podřezávání je možné aplikovat pouze na zdivu s pravidelnou vodorovnou spárou. Spára se vytvoří prořezáním ruční pilou (tzv. břichatkou) a do proříznuté spáry se vloží hydroizolace. [2]
- Podřezávání řetězovou pilou - Pila se pohybuje pomocí pohyblivého podvozku. Tloušťka podřezávané zdi je závislá na délce vodící lišty. Nejprve je nutné podél konstrukce vybudovat pevný a rovný podklad, jak je možné vidět na obrázku 2, po kterém se bude stroj pohybovat. Stroj prořeže drážku o délce asi 1 m, pak je zapotřebí drážku vyčistit a vložit hydroizolační pás. Jedná se o poměrně rychlý a jednoduchý způsob, u kterého patří mezi nevýhody především prašnost a potřeba pojezdové plochy. [2]



Obrázek 2: Schéma podřezávání řetězovou pilou [14]

- Podřezávání kotoučovou pilou- Zde se používají kruhové pily o průměru až 1,2 m. Kotoučová pila má poměrně vysokou rychlost otáčení a z toho důvodu je nutné použít chlazení vodou. Proto je potřeba pracovat dostatečně rychle a co nejdříve odklidit kaši, která vznikla při chlazení. K nevýhodám patří samozřejmě pracovní plocha, která stejně jako u prořezávání řetězovou pilou většinou zasahuje až pod terén. Výhodou můžeme považovat malou poruchovost a trvanlivost. V ČR se tato metoda používá jen výjimečně. [2]
- Podřezávání lanovou pilou - Pomocí této metody je možné podřezávat zdivo z jakéhokoliv materiálu a z jakékoliv tloušťky zdiva. Řez je možné vést jak vodorovně, tak i svisle. U této metody je nutné chlazení přímo v řezné spáře, aby nedošlo k poškození lana, což opět vnáší do konstrukce určitou vlhkost. Hlavní nevýhodou je umístění lana tak, aby byla možná návaznost vložené hydroizolace na hydroizolaci podlahy. [2]

Probourávání

K dalším mechanickým sanačním metodám můžeme zařadit i probourávání. Při tomto způsobu přímé metody sanace vlhkého zdiva se vysekává otvor přes celou tloušťku zdi (do celkové tloušťky stěny 0,6 m). Urovná se dno, uloží se hydroizolace a otvor se může vyzdít. Jednotlivé probourávání musíme provádět na přeskáčku.

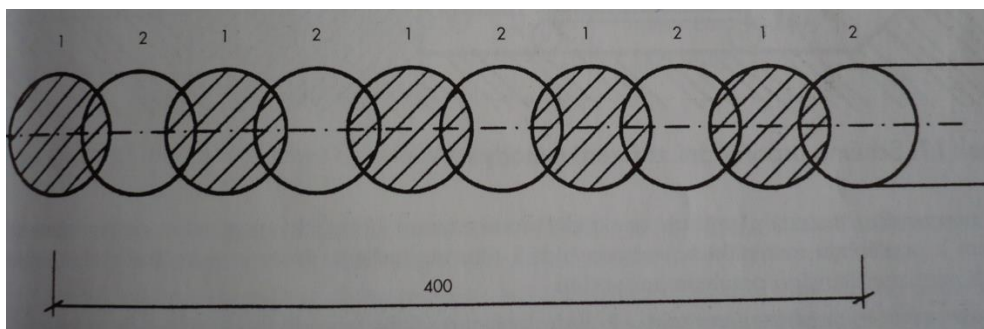
Nejpoužívanější byla tato metoda v 70. letech 20. století. Dnes se již od této technologie ustoupilo zejména pro její pracnost, časovou náročnost a také významně porušovala statiku konstrukce. [2]

Metoda MASSARI

Daleko novodobější metodou řadící se k mechanickým metodám sanace vlhkého zdiva je metoda MASSARI. Jde o metodu funkčně spolehlivou.

Při provádění nedochází k otřesům a ani prašnost není velická. Metoda MASSARI spočívá ve vytvoření soustavy otvorů vyvrtaných jádrovými vrtáky. Tyto otvory se vyplní směsí, jejíž složení zahrnuje polyesterové pryskyřice, ředidla, oxidujícího katalyzátoru a plniva. Během několika hodin pryskyřice polymeruje a zatvrdne natolik, až je schopna přenést dané zatížení. Poté se může pokračovat s vyvrtáním mezivrstvy tak, že nově vyvrtané otvory musí zasahovat do těl dříve vytvořených a již zaplněných otvorů, jak můžeme vidět na obrázku 3. Tyto otvory se opět vyplní danou směsí.

Za hlavní nevýhodu této metody můžeme považovat především drahé strojní vybavení, celkově pomalý postup prací a problémy spočívající v navázání a také absenci přesahu polyesterové vrstvy, na kterou by navazovala vodorovná izolace podlahy. [2]



Obrázek 3: Schéma provádění metody MASSARI [2]

Metoda HW

Jednou z posledních metod mechanických je metoda nazývána HW. Při této metodě se hydroizolační vrstvy vytváří zarážáním vlnité desky z nerezového plechu do pravidelné maltové spáry ve zdivu. Prakticky neomezenou životnost nám zaručuje nerezový materiál, ale především díky němu jde o jednu z nejdražších metod. Zařízení je opatřeno pojízdnou stolicí, ta se pohybuje po ocelové koleji podél zdi. K hlavní výhodě můžeme zařadit čistotu okolí při i po provedení práce, relativně rychlý pracovní postup a dostačující přístup drážky pouze z vnější strany konstrukce. Za nevýhodu je považována vysoká cena, a také potřebné manipulační prostory (většinou pod úrovní terénu) pro pojezd zařízení a napojení na hydroizolaci podlahy. [2]

3.3.4 Metody elektroosmotické

Vysušování zdiva metodou elektroosmotickou je vhodné téměř pro všechny konstrukce a materiály s pórovitou strukturou, která je důležitá pro pohyb vody vlivem kapilárních sil. Pro tuto metodu je důležité správné uspořádání elektrod jak ve zdivu, tak v zemině a jejich připojení ke zdroji.

Jelikož je zapotřebí kombinace dalších sanačních metod a životnost materiálu je relativně nízká tak z technické praxe vymizela především pasivní elektroosmóza a galvanoosmóza.

Mezi výhody elektroosmózy můžeme počítat především to, že do konstrukce neinstalujeme žádné cizí prvky, tudíž nemusíme konstrukci posuzovat ze statického hlediska a nedochází k narušení vzhledu. Využití elektroosmózy je méně vhodné pro konstrukce s vysokým obsahem solí a konstrukce, které ohrožuje velmi tvrdá spodní voda. Typy elektroosmózy dále jsou:

- Pasivní elektroosmóza
 - Konstrukce se skládá z elektrod instalovaných do vlhkého zdiva a z elektrod zemních, tyto elektrody jsou z totožného materiálu.
- Galvanoosmóza
 - Elektroda zabudovaná do zavlhělého zdiva z rozdílného materiálu než elektroda zemní.
- Aktivní elektroosmóza
 - Jako elektrody se používají pásové nebo tyčové elektrody, které se vkládají do otvorů ve zdivu a jsou vzájemně propojeny vodičem. Tuto metodu nelze použít pro konstrukce s ocelovou výztuží v okolí instalace aktivní elektroosmózy, a pokud je pH konstrukcí vyšší než 6. [2]

3.3.5 Metody vzduchoizolační

Tyto metody spočívají v oddělení zdroje vlhkosti od konstrukce vzduchovou mezerou. Vzniklá mezera zajišťuje stálý přísun a odvod vzduchu. Mezi vzduchoizolační metody sanace vlhkého zdiva můžeme zařadit: provětrávané štoly, provětrávané sokly, anglické dvorky, provětrávané podlahy atd. Pro své finanční náklady a pracnost se dnes už jako sanační opatření téměř neprovádí. [2]

3.3.6 Metody chemické

Princip chemické metody spočívá v napouštění vlhkého zdiva látkami, které vnikají do trhlin, kapilár i pórů a tím vytváří hydroizolační vrstvu. Vzniklá vrstva plní funkci dodatečné hydroizolace a brání vztlínání další vody. Metoda použití a druh chemické hydroizolace je závislý především na charakteru každého objektu a jeho technickém stavu. Nevhodná je tato metoda u konstrukcí se silně narušeným zdivem, kde by mohlo následně dojít k unikání roztoku.

Základní zásady pro provádění a navrhování způsobů injektáží stanovuje norma ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva. Speciálním předpisem je pak směrnice WTA 4-4-04/D – Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti.

Chemické metoda spočívá ve vyvrtání otvorů o průměru 15-40 mm, v hloubce 50-100 mm a vzdálenosti 100-150 mm v jedné nebo ve dvou řadách nad sebou s prostřídáním. Před započítím vrtacích prací je nutné odsekání omítky minimálně v okolí předpokládaných vrtů, aby při infuzi nedocházelo ke ztrátám roztoku při vsakování do omítky. Vrty by se měly provádět se sklonem 15-45°. Po vyvrtání otvorů je zapotřebí jejich vyčištění, nejlépe stlačeným vzduchem. Poté je možné provedení infúze chemickým roztokem. Všeobecně je možné říci, že účinnost injektáže je tím větší, čím jsou osové vzdálenosti vrtů menší.

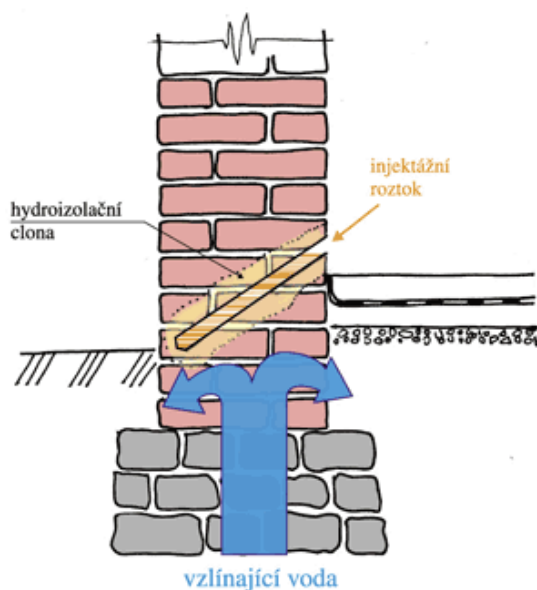
Pro pohodlné a bezproblémové provedení vrtů lze využít i pomůcek (šablon), které nám zajistí dodržení předepsaných roztečí, sklonů a rovnoměrného vedení vrtů. Pokud je zdivo větší tloušťky než 1000 mm, pak je zapotřebí otvory vyvrtat z obou stran zdiva. Horizontální rovina vrtů musí navazovat na hydroizolaci podlahy nebo na svislou hydroizolaci stěny. Způsob napouštění vrtů roztokem závisí na podmínkách objektu, druhu infúzního roztoku, způsobu a rozsahu infúze. Může být prováděno ručně, přečerpáním nebo pomocí zvláštních plnicích zařízení. Jeden z mnoha způsobů provedení injektáže je znázorněn na obrázku 4. Druh použité technologie by měl být závislý především na složení a vlhkosti zdiva a obvykle je dán projektem rekonstrukce objektu. [2]

Hydroizolační clony můžeme dělit podle polohy ve stěně na:

- svislé - ty brání průniku vody z obvodových stěn do vnitřních stěn
- plošné - bránící průniku vlhkosti z okolní zeminy
- vodorovné - bránící vztlínající vlhkosti

Provádění prací by mělo být bez otřesů a vyhovovat hygienickým i bezpečnostním předpisům. Tento způsob sanace je možné provádět dvěma postupy, a to buď jako beztlakovou infúzi nebo tlakovou injektáž. [1]

Tato sanační metoda je díky svým dosaženým výsledkům a nenáročnosti při provádění stále se rozvíjející metodou a získává si ve stavební praxi velkou oblibu. Proto se tématem gelových infúzních clon budeme podrobněji zabývat v následující kapitole.



Obrázek 4: Schéma působení hydroizolační clony [19]

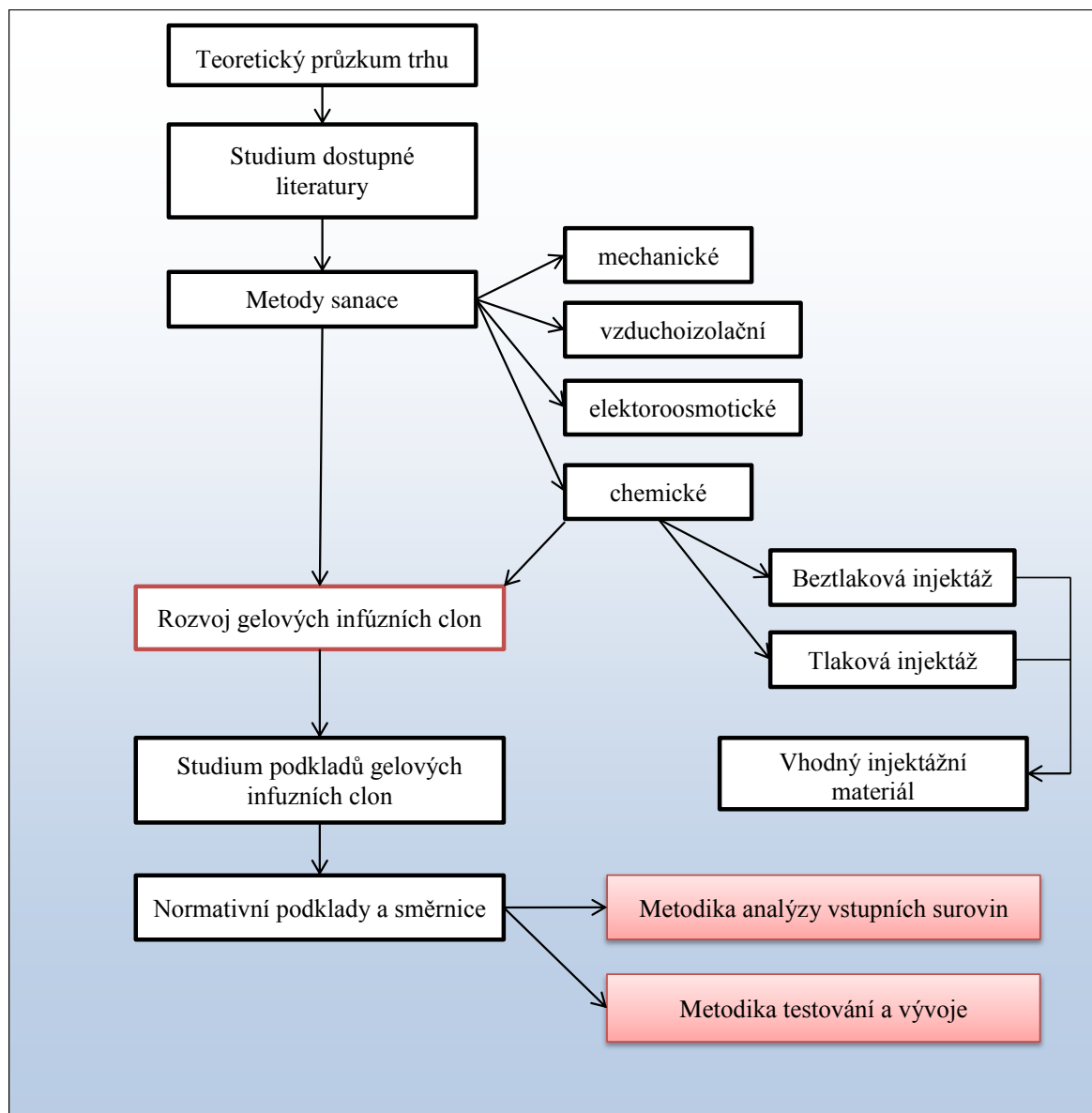
4 PRAKTICKÁ ČÁST

V rámci návrhu metodiky byl proveden a zpracován podrobný teoretický průzkum trhu, zaměřený na analýzu dostupných podkladů zabývajících se sanací vlhkého zdiva.

Mezi jednu z progresivních a velmi často používaných metod současnosti, byla analyzována technologie tzv. chemické sanace s progresivní technologií gelových infúzních clon. Při studiu materiálů zabývajících se touto problematikou bylo zjištěno, že tento typ sanace vlhkého zdiva lze provést dvěma základními metodami a to tlakovou nebo beztlakovou injektáží. Při zvolení požadovaného způsobu injektáže je dále nutné podle tohoto také zvolit vhodný injektážní materiál.

V souvislosti s použitím gelových infúzních clon, byly dále analyzovány české i evropské normy a směrnice, které byly následně využity pro výzkum a vývoj nových hydroizolačních materiálů, a následnou analýzu provedených hydroizolací v praxi.

Na základě analyzovaných podkladů bylo možné přejít k samotnému návrhu postupu výzkumu a vývoje gelových injektážních clon a jejich ověření funkčnosti. Jednalo se tedy konkrétně o návrh dvou fází praktické metodiky, metodiky analýzy vstupních surovin, a metodiky testování a vývoje. Celkový postup při řešení praktické části je možno vidět na schématu obrázku 05.



Obrázek 5: Metodika praktické části

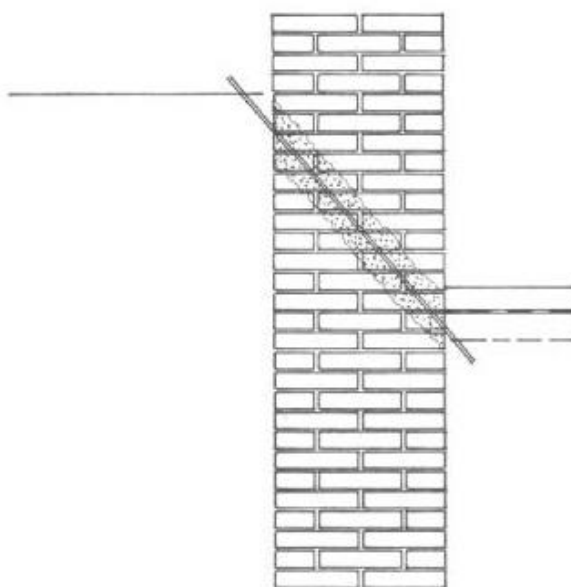
4.1 GELOVÉ INFÚZNÍ CLONY

Chemické sanační metody našly své uplatnění ve stavební praxi zejména díky své nenáročné aplikovatelnosti a časové nenáročnosti. Jak již bylo řečeno, chemická clona spočívá ve vytvoření vodorovné, šikmé nebo svislé hydroizolační bariéry ve zdivu napouštěním vhodným chemickým roztokem. Tento roztok následně utěšňuje nebo hydrofobizuje kapilární póry, čímž zamezuje transportu vlhkosti. Princip tedy spočívá ve vytvoření izolace proti vztlínající vlhkosti, kdy se do zavlhlého zdiva napustí látka, jež proniká do pórů, kapilár a trhlin. Tato zóna následně brání prostupu vztlínající vody. [1]

4.1.1 Vhodná volba injektážního prostředku

Je tedy zřejmé, že provedení gelové infúzní clony není nikterak náročné, ale velice důležitým předpokladem správné funkce injektáže je zvolení vhodného injektážního prostředku.

Ještě před provedením infúze je nutné získat potřebné informace jak o používaném druhu infúzního prostředku, tak o stavu konstrukce kterou chceme sanovat. Je nutné seznámit se především s chemickouází injektážního roztoku, ale také s druhem zdiva a porovnat tyto dva aspekty vůči sobě. Je zapotřebí zjistit, zda je prostředek vhodný na beztlakovou infúzi nebo tlakovou injektáž. Samotná informace o vzdálenosti vrtů by měli být předepsané pro zvolený roztok a složení zdiva. Pozornost bychom měli věnovat také hranici vlhkosti, pro kterou lze prostředek použít. Důležitou vlastností je tedy maximální vlhkost stavebního materiálu. Pokud jsou otevřené póry nasyceny vodou, je nepravděpodobné, že se do zaplněné struktury nedostane infúzní roztok, který je daleko viskóznější. Pokud tedy sanujeme zdivo velmi vlhké je zapotřebí aplikovat injektážní látku pod tlakem, nebo využít látky, které s vodou reagují. Jako účinné se v tomto případě osvědčilo předsušování zdiva před samotnou injektáží, čímž docílíme vysušení struktury zdiva a tím dojde k uvolnění kapilár, do kterých se může následně aplikovat injektážní roztok. V mnoha případech je požadavek, aby vytvořená hydroizolační clony spolupůsobila s hydroizolací podlahy, tento princip můžeme vidět na obrázku 6, kde vytvořená gelová clona navazuje na hydroizolaci v 1. PP. [1]



Obrázek 6: Šikmá infúzní clona s návazností na hydroizolaci podlahy 1. PP [1]

4.1.2 Používané chemické báze infuzních prostředků

V dnešní době jsou pro vytváření chemických infuzních clon nejvíce využívány silikony, polyuretany, roztoky kaučuků, pryskyřice ve formě emulze, roztoky asfaltu v organických rozpouštědlech, vysychavé a nevysychavé oleje, roztavený parafín. [2]

4.1.3 Provedení

Stejně tak jako je důležitá vhodná volba injektážního prostředku, je důležité i samotné provedení injektáže.

Postup většinou spočívá ve vytvoření vrtů v rovině, podobně jako je znázorněné na obrázku 8, nebo po větší ploše, jak je vidět na obrázku 7. Tyto vrty se následně plní injektážním roztokem. Roztok pak vytváří ve struktuře zdiva dodatečnou hydroizolační clonu, která má utěšňující nebo hydrofobizační účinky. Napouštění vrtů je závislé na podmínkách objektu, způsobu a rozsahu vrtů, ale také na druhu infúzního prostředku. Vrty se mohou provádět na obvodových i vnitřních stěnách a to buď jednostranně nebo i oboustranně, v jedné nebo ve více řadách nad sebou i vedle sebe. Tento způsob sanace je možné provádět dvěma postupy a to buď jako beztlakovou infúzi nebo tlakovou injektáž. [1]



Obrázek 7: Provádění plošné injektáže [13]



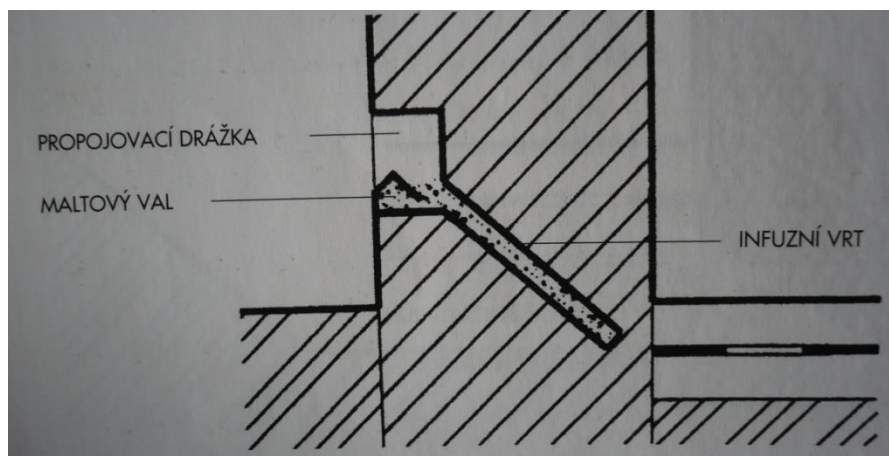
Obrázek 8: Provádění vodorovné injektáže [13]

Beztlaková infúze

Jednou z metod jak gelovou injektáž provádět je metoda beztlakové infúze. Tato metoda patří k nejběžnějším a nejpoužívanějším způsobům tohoto druhu.

Metoda je založená na vpravování roztoku do připravených vrtů bez použití tlaku, pouze kapilární nasákavostí. Je třeba ji tedy provádět nízkoviskózními roztoky, aby bylo zajištěno proniknutí do dostatečné hloubky. Nejvhodnější jsou proto ve vodě rozpustné prostředky (silikáty, silany, silikonové mikroemulze). Do vyvrtaného šikmého vrtu se za pomoci čerpadla nebo upravené zahradní konve vlévá roztok. Někdy se pro vytvoření rovnoměrné hladiny vytvoří na vnější straně otvoru vodonepropustný val, který můžeme vidět na obrázku 9. Rozteč vrtů se odvíjí od nasákavosti zdiva a druhu materiálu. Běžně se pohybuje od 100 do 150 mm. Podle druhu použité technologie a druhu injektážního prostředku je určují průměry vrtů. Ty bývají 20 – 40 mm, měli by být o 50 mm menší, než je tloušťka zdiva. Sklon vrtů závisí především na tloušťce a skladbě zdi, běžně se volí v rozmezí 15° - 45°. U stěn s malou tloušťkou je důležitá zásada, aby vrt procházel alespoň jednou ložnou spárou, a u stěn silnějších musí vrt procházet dvěma ložnými spárami. U tohoto způsobu sanace je důležité staticky posoudit zdivo oslabené vrtáním. [1]

Při tloušťce zdiva nad 600 mm a v rozích by otvory měl být umístěny jak z vnější tak i z vnitřní strany zdiva. Před započítím samotné injektáže je nutné z vrtů odstranit prach nejlépe stačeným vzduchem bez obsahu oleje, poté již může následovat injektáž infúzním roztokem. [9]

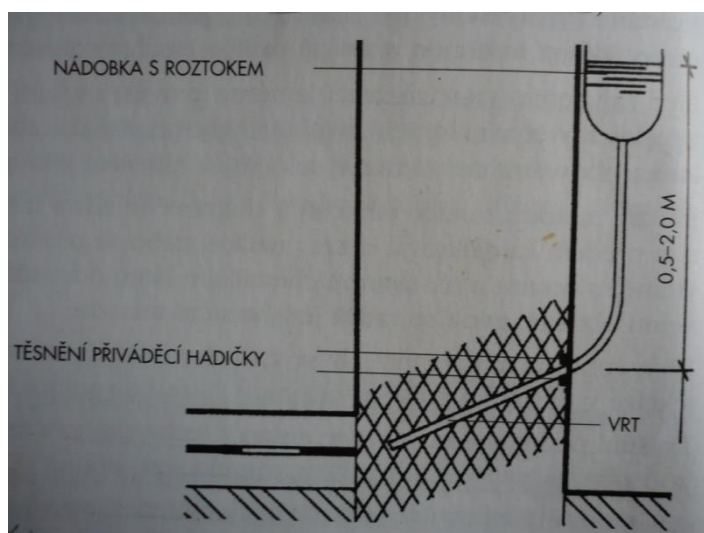


Obrázek 9: Schéma beztlakové infúze [2]

Infúze s hydrostatickým přetlakem

U této metody se vytvoření otvorů provádí stejným způsobem jako je tomu u beztlakové infúze, vrty ale nemají tak velký sklon. Do ústí vrtu se umístí hadička, kterou je zapotřebí dostatečně utěsnit maltovou ucpávkou. Hadička se napojuje na nádobu, která je o 0,5 až 2,0 m nad vrtem a je naplněna infúzním roztokem, jak je zřejmé z obrázku 10. Díky rozdílné výšce hladin v nádobě a v ústí vrtu můžeme využít přetlaku, který zde vzniká. Při tomto přetlaku lze použít viskóznější roztoky než u beztlakové infúze, nebo je možná aplikace u méně poréznějšího zdiva.

K hlavním nevýhodám patří především vyšší pracnost oproti beztlakové infúzi a především obtížné utěsnění hadičky ve vrtu. [2]

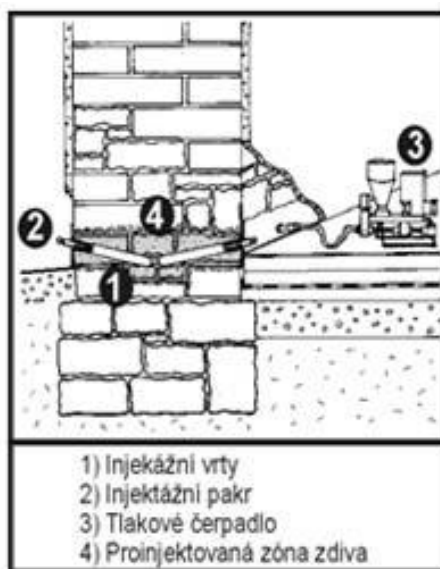


Obrázek 10: Schéma provádění infúze s hydrostatickým přetlakem [2]

Tlaková injektáž

Poslední metodou aplikace gelového injektážního roztoku do zdiva je v dnešní době velice využívaná metoda tlakové injektáže. Tento způsob injektáže se využívá především pro silně zavlhlé stavební konstrukce. Jako injektážní materiál lze aplikovat vysoce viskózní látky, které nemají schopnost zatéct do pórů zdiva. Rozteč vrtů se stanoví na základě předpokládaného minimálního pronikání injektážního roztoku. Zpravidla volíme osovou vzdálenost vrtů 100 – 125 mm o průměru 10 až 18 mm. Hloubku vrtů opět volíme o 50 mm menší než je tloušťka zdiva. Při dvou řadách vrtů by svislá vzdálenost mezi jednotlivými vrty neměla být větší než 80 mm. Sklon vrtů je buď nulový nebo do maximálního sklonu 30 °. Vrty se provádí podle technologie uvedené výrobcem, který může také udávat další podmínky, které nám určují, zda budou vrty vedeny vodorovně nebo svisle. Při tloušťce stěny nad 600 mm a v rozích je opět zapotřebí injektovat z obou stran stěny. Vyvrtané otvory se osadí injektážními ventily, které nám zajistí těsné spojení s vrty. Přes vysokotlakou pumpu se vrty plní injektážním roztokem. Pokud by nebylo při injektáži dosaženo požadovaného tlaku, je zřejmé, že ke ztrátám tlaku dochází netěsnostmi ve formě dutin nebo trhlin a bylo by zapotřebí dalších opatření, která by spočívala například ve vyplnění dutin. Možné provedení tlakové injektáže můžeme vidět na obrázku 11.

Tlaková injektáž je oproti injektáži beztlakové využívanější především kvůli své rychlosti provádění a nenáročnosti při manipulaci. Při provádění této metody je důležité dokumentovat spotřebu injektážního roztoku, injektážní tlak a další poznatky s injektáží spojené. [1]



Obrázek 11: Schéma tlakové injektáže [9]

Pro správnou funkci a následné prokázání účinnosti provedené injektáže je třeba respektovat několik pravidel, mezi které patří hlavně:

- Druh a složení chemické látky s ohledem na druh a materiál zdiva.
- Druh a rozložení vrtů ve zdivu.
- Schopnost chemické látky proniknout do různých materiálů.
- Stabilita chemických látek pro vznik chemické clony.
- Účinnost a životnost clony ve zdivu.
- Druh chemické látky ve vztahu ke korozi stavebních materiálů.
- Způsob aplikace.
- Ochrana prostředí před možnými škodlivými účinky použitých materiálů.
- Vlastnosti sanačních prostředků musí být takové, aby nám zajistili rovnoměrné napuštění materiálu.

4.1.4 Omezení technologie gelových infúzních clon

Metoda gelových infúzních clon si našla v dnešní uspěchané době oblibu u zákazníka především díky své minimální časové náročnosti. Stejně jako ostatní sanační systémy má i systém gelové infúzní clony celou řadu nezanedbatelných výhod. K těmto výhodám řadíme zejména účinnost metody, snadnou aplikaci, hygienickou nezávadnost, časovou nenáročnost metody a především vyloučení rizik statických vad, kdy nedochází ke vzniku trhlin ani k sedání konstrukce jako tomu bývá u jiných metod.

Podobně jako je tomu snad u všech stavebních materiálů v dnešní době, má každý vedle svých výhod i nezanedbatelné množství nevýhod. Mezi hlavní nevýhody chemických hydroizolačních clon řadíme nemožnost kontroly kvality a účinnosti ihned po ukončení prací. Dále je tu především skutečnost, že technologie a provádění injektáží není nijak finančně náročná a tak se prací ujímají různé stavební firmy, jejichž činnost spočívá v klasické stavební výrobě, a tudíž nedisponují správnou technikou ani pracovníky s potřebnými zkušenostmi. Firmy provádějící injektáže by proto měly prokázat svou kvalifikaci řádně proškolenými pracovníky a přehledem referenčních staveb. [1]

4.1.5 Výrobní společnosti

V rámci průzkumu trhu byly zmapovány firmy, které do svého výrobního portfolia produktů, zařadily i materiály pro aplikaci gelových infúzních clon pro sanační práce. V oblasti ČR působí tyto firmy:

- Betosan s.r.o.
- Sika
- Stavební chemie Slaný a.s.
- Schomburg
- MEM Bauchemie
- Bornit, Realsan Group
- HEY'DI izolační technika
- Remmers Baustofftechnik
- Drizoro

4.2 ZKUŠEBNÍ METODY

4.2.1 Stanovení vztlínivosti (ČSN 73 1357)

U většiny konstrukcí vystavených působení okolní vlhkosti dochází k vlhnutí zdiva konstrukce způsobené zejména vztlínáním zemní vlhkosti. Z tohoto důvodu je důležité posoudit zejména výšku vztlnutí před provedením sanace a po provedení sanačních prací.

Zkouška se stanovuje částečným ponořením vzorku do nádoby s vodou na stanovenou dobu. Tělesa se před započítáním zkoušky změří a zváží, následně se postaví do nádoby s vodou. Z nádoby se po době uvedené v dokumentu [23] vyjmou a opět zváží. Vztlínavost se udává v g na 100 mm^2 .

4.2.2 Stanovení okamžité vlhkosti (ČSN 73 1357)

Jedním z nejdůležitějších parametrů je stanovení vlhkosti. Zde je důležité porovnat hodnoty vlhkosti zjištěné před a po penetraci zkušebních těles a tyto dvě hodnoty mezi sebou porovnat. Zkušební sadu by mělo tvořit 12 vzorků, které jsou nejčastěji odebírány formou vývrtů. Princip

stanovení vlhkosti spočívá ve zjištění množství vody ve vzorku v době odběru. Kdy se odebraný vzorek zváží, následně vysuší a opět zváží. Přesný postup pro stanovení okamžité vlhkosti je uveden v normě [23].

4.2.3 Stanovení nasákavosti varem (ČSN EN 772-7)

Jedním z mnoha dalších parametrů poškozující stavbu vlivem vlhkosti je nasákavost. Nasákavost je důležitá především z hlediska množství přijaté vody a při následném porovnání nasákavosti těles penetrovaných a referenčních. Přesný normativní postup při stanovení nasákavosti varem uvádí norma [22]. Princip spočívá ve stanovení přírůstku hmotnosti vzorku, který je nasycen vodou, oproti hmotnosti vzorku, který je vysušený.

4.2.4 Stanovení pórovitosti

Porozitu nejen práškových ale i pevných materiálů stanovíme pomocí rtuťové porozimetrie. Tato metoda nám poskytuje informace o objemu a hustotě pórů, dokáže ovšem i specifikovat povrch pórů. Metoda je založená na jevu kapilární deprese, kdy při ponoření tělesa do kapaliny, která jej nesmáčí (nebo špatně smáčí) se tato kapalina dostane do pórů jen za působení tlaku. Následně z velikosti tlaku, který byl vynaložen na vtlačení určitého objemu rtuti (nesmáčivá kapalina) do pórů je určen poloměr pórů.

Pokud se tedy tlak zvyšujeme, je zřejmé, že rtuť vniká do pórů stále menšího poloměru, tudíž zvyšováním tlaku a měřením objemu rtuti, která byla vtlačena do pórů je možné stanovit objem pórů podle velikosti. Průměr pórů je nepřímo úměrný tlaku a přímo úměrný kontaktnímu úhlu mezi kapkou rtuti a měřeným povrchem.[15]

4.2.5 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu (ČSN EN 196-1)

Velmi důležitým parametrem je samozřejmě stanovení pevností. Je důležité, aby působením injektážních materiálů nedošlo ke ztrátě nebo snížení pevností zkoušeného materiálu. Princip spočívá v zatěžování tělesa v lise, které na něj vyvodí takovou sílu, která vzorek poruší. Síla působí na těleso uprostřed jeho délky. Ze síly, která vzorek porušila lze jednoduše stanovit pevnost v tahu za ohybu.

4.2.6 Stanovení pevnosti v tlaku (ČSN EN 196-1)

Jak již bylo řečeno, neméně důležitým parametrem jsou u většiny stavebních materiálů pevnosti. Při použití kteréhokoliv injektážního materiálu nesmí docházet k jejich snižování nebo ztrátě. Pevnost v tlaku se stanovuje na tělesech, které jsou umístěny do lisovacího zařízení, které na vzorek vyvodí tlačnou sílu, která vzorek poruší. A ze síly, která vzorek porušila následně stanovíme pevnost v tlaku.

4.2.7 Stanovení prostupu vodních par povrchovou úpravou (ČSN 73 2580)

Zkouška prostupu vodních par spočívá ve zjištění množství vodní páry, která stanovenou plochou dané povrchové úpravy projde za podmínek stanovených normou [25]. Zkušební těleso by mělo být kruhového tvaru o rozměrech stanovených normou [25].

4.2.8 Stanovení vodotěsnosti povrchové úpravy (ČSN 73 2578)

Podle normy stanovující zkoušku vodotěsnosti povrchové úpravy lze stanovovat i vodotěsnost nátěrů, povrchy betonů upravené nástřikem, ale i obkladů a podobných konstrukcí bez ohledu na jejich použití. Principem stanovení zkoušky vodotěsnosti je zjištění množství vody, které se za podmínek definovaných normou [26] nasákne do povrchové vrstvy. Měření je třeba provádět na ploše minimálně 100 x 100 mm, zpravidla je ale zkouška stanovována i na ploše větší.

4.2.9 Hloubky průsaku tlakovou vodou (ČSN EN 12390-8)

Tato norma stanovuje hloubku průsaku tlakovou vodou pro zkoušení ztvrdlého betonu, kde je zapotřebí těles krychle, válce popřípadě hranolu, o průměru nebo délce hrany alespoň 150 mm a žádný z dalších rozměrů by neměl být menší než 100 mm. Při stanovování hloubky průsaku na penetrovaných zkušebních tělesech bude zapotřebí rozměry těles upravit podle potřeby. Principem této zkoušky je vyvození vodního tlaku po stanovenou dobu, přesně tyto podmínky definuje norma [27]. Po normou stanovené době se těleso rozlomí v polovině a zjistí se největší hloubky průsaku.

4.2.10 Stanovení charakteristik vzduchových pórů (ČSN EN 480-11)

Přednostně tato norma slouží pro stanovení charakteristik vzduchových pórů ve ztvrdlém provzdušněném betonu. Pro stanovení potřebných charakteristik je zapotřebí mít těleso, jehož povrch je broušen a leštěn, a to tak, aby výsledkem byl rovný a hladký povrch pro zkoumání mikroskopem. Samotnou strukturu pórů je možné zjistit snímáním podél měřících přímek. Z počtu pórů protnutých měřícími přímkami a délky jednotlivých tětiv je posléze možné z matematické analýzy popsat vzduchové póry.

4.2.11 Stanovení vzduchové propustnosti

Běžněji se ve stavařské praxi setkáváme se zkráceným pojmem Torrent, což je zjednodušený význam pro Torrent permeability tester. Přednostně se tato metody využívá pro stanovování vzduchové propustnosti betonových ploch. Metodou Torrent můžeme stanovit vzduchovou propustnost jak ve vodorovné, tak i ve svislé poloze. Měřicí přístroj je tedy možné použít jak v laboratorních podmínkách tak přímo in-situ. Samotné měření je velice jednoduché a časově nenáročné (doba měření je maximálně 12 minut). Před samotným měřením je důležité si stanovit aktuální vlhkost měřeného povrchu. Principem metody je přiložení buňky na povrch zkoumaného materiálu, poté následně dojde k vyvození podtlaku za pomoci vývěvy a tím k vytvoření vakua. Z rychlosti poklesu tlaku ve vakuu je možné stanovit vzduchovou propustnost v závislosti na vlhkosti. [16]

4.2.12 Elektronová rastrovací mikroskopie (REM mikroskopie)

Přístroj používaný při této mikroskopické metodě se nazývá rastrovací elektronový mikroskop (REM, ovšem někdy označován též jako skenovací mikroskop). Důsledkem vysoké hloubky ostrosti je možné v dvojrozměrných fotografiích nalézt i trojrozměrný efekt. Jedno z mnoha výhod je také to, že kromě mikrostruktury lze určit například i prvkové složení, ale také jednoduchá příprava preparátu, kdy lze požit pouze úlomky pozorovaného materiálu. Důležité je, že vzorek použitý pro REM musí být elektricky vodivý, jinak by znemožňoval snímání finálního obrazu. Pokud je tedy vzorek elektricky nevodivý je nutné jej před REM opatřit vrstvou vodivého materiálu (tenká vrstva zlata, platiny, uhlíku). Při vhodném zvětšení je možné pomocí REM zpozorovat i krystalické novotvary. [10]

4.2.13 Počáteční povrchová nasákavost

Pro stanovení počátku povrchové nasákavosti se používá zařízení, které tuto vlastnost stanoví pouze na vzorcích, nelze je tedy použít přímo in-situ. Povrchové nasákavost nám stanovuje propustnost povrchové vrstvy pro vodu na plochém tělese. Principem této zkoušky je stanovení doby, za kterou je množství vody proudící kalibrovanou trubičkou pohlceno vrstvou vzorku o známé ploše. [16]

4.2.14 Rentgenová difrakční analýza (RTG)

Metoda rentgenové difrakční analýzy slouží pro stanovení mineralogického složení posuzovaného materiálu. Běžně tedy touto metodou doplníme již dříve stanovené poznatky o chemickém složení. U silikátových materiálů sehrává tedy tato metoda důležitou roli, lze ji použít pro kvalitativní posouzení (stanovení minerálů, které jsou přítomny), ale také pro kvantitativní stanovení (stanovení množství jednotlivých fází a jejich množství).

Difrakční metody jako takové, jsou založeny na interferenci rentgenového záření. Metody rentgenového záření jsou tedy založeny na tom, že ve struktuře látky nalezneme vzájemně rovnoběžné roviny, které mezi sebou dosahují vzdálenosti, kterou nazýváme tzv. mezimřížkovou vzdáleností. Podle jednotlivých mezimřížkových vzdáleností je možné identifikovat daný minerál. [7]

4.2.15 Energodisperzní spektrometrie (EDS)

Přístroj, který se při energodisperzní spektrometrii používá je nazýván energodisperzní spektrometr. Tento spektrometr pracuje na principu měření energie rentgenového záření. Rentgenové záření je vyvolané dopadem primárního elektronu na valenční elektron prvku, tím je tento elektron vyražen a nahrazen elektronem z nižší slupky. Na tomto principu lze tedy analyzovat typ a množství jednotlivého prvku ve vzorku, kdy každý z prvků má rozdílnou energii, typ a množství rentgenového záření. [17]

4.2.16 Stanovení přírodních radionuklidů

Pokud budou na injektážní materiály použity takové materiály, které obsahují jakékoliv množství druhotné suroviny jako přísadku do své struktury je zapotřebí zajistit nezávadnost tohoto materiálu. Měření a vyhodnocování přírodních radionuklidů mohou provádět jen laboratoře, jež disponují oprávněním Státního úřadu pro jadernou bezpečnost tuto činnost

provozovat. Důležité je stanovení hmotnostních aktivit radionuklidů ^{40}K , ^{226}Ra a ^{229}Th a tak výpočet indexu hmotnostních aktivit. Ve stavební praxi se ke stanovení přírodních radionuklidů využívá metody scintilační nebo polovodičové spektrometrie záření gama. Podle předepsaného množství přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu následně provedeme zařazení do kategorie (použití pro stavby s obytnými nebo pobytovými místnostmi nebo použití výhradně pro stavby jiné než s obytnými nebo pobytovými místnostmi). [18]

4.3 ZKUŠEBNÍ POSTUPY WTA

Přesné zkušební postupy pro injektáž zdiva pomocí gelových injektážních clon stanovuje směrnice WTA 4-4-04/D – Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. V této směrnici jsou stanoveny nejen postupy jak připravit zkušební tělesa, ale také celá metodika jak postupovat při posuzování účinnosti provedené gelové injektáže.

Metodika popsaná v této směrnici spočívá ve vytvoření poměrně rozsáhlých těles, kde dvě ze tří těles se následně injektují zkoušeným materiálem. Následně se po době stanovené ve směrnici [20] provádí zkoušky účinnosti. Celé schéma zkušebního postupu podle směrnice WTA je znázorněno v tabulce 1.

Směrnice WTA počet těles pro zkušební metody na tři, kde dvě tělesa se injektují a třetí těleso zůstává neinjektované, pro referenční účely. Přesné rozměry těles stanovuje [20] a jsou rozdílné pro beztlakovou a tlakovou injektáž. Samotné zvolení injektážní metody závisí na doporučeních daných výrobcem. Vyzdřená tělesa se následně sytí vodou, aby bylo dosaženo stupně syčení odpovídající stavebnímu dílu v praxi. Po kondicionování následuje injektáž zkušebních těles. Nejprve je nutné provést vrtý. Přesné parametry provedených vrtů stanovuje [20]. Do vyvrtaných otvorů se poté zvoleným způsobem vpraví injektážní materiál. Po tomto úkonu se zkušební tělesa ponechají vystavená klimatu místnosti. Přesné hodnoty klimatu stanovuje [20]. Následně po době stanovené v [20] se může započít se zkouškami účinnosti.

Účinnost provedené zkušební injektáže se pro stanovený stupeň nasycení struktury vodou a pro všechny zkušební metody stanoví porovnáním vlhkosti těles referenčních s tělesy injektovanými. Účinnost provedené injektáže stanovuje směrnice [20] takto:

- „Množství odpařené vlhkosti, obsah vlhkosti, nebo vodonepropustnost injektovaných zkušebních těles jsou za 90 dnů od zahájení zkoušky ve srovnání s tělesem referenčním nejméně o 50% nižší.“

- „Množství odpařené vlhkosti, obsah vlhkosti, ale i vodonepropustnost injektovaných zkušebních těles se ve sledované době od zahájení zkoušky ve srovnání s tělesem referenčním dále nezvyšují, popř. klesají.“

	Průkazní zkouška		
	Při stupni sycení materiálu vodou do 60 %	Při stupni sycení materiálu vodou do 80 %	Při stupni sycení materiálu vodou do 95 %
	Cihly vyzděné podle doporučení WTA		
Předcházející kondicionování zkušebního vzorku (tělesa); stupeň sycení vodou	do 60 ± 10 %	do 80 ± 10 %	do 95 ± 5 %
Injektážní metoda	Injektáž podle protokolovaných doporučení výrobce		
Stav po injektáži podle doporučení WTA	Při protokolovaném klimatu místnosti		
Zkouška účinnosti	Porovnání injektovaného zkušebního tělesa s neinjektovaným tělesem referenčním měřením množství odpařené vody příp. obsahu vody v materiálu podle doporučení WTA		

Tabulka 1: Obecné schéma provádění zkoušky podle směrnice WTA 4-4-04/D [20]

4.4 KVALITA PROVEDENÉ INJEKTÁŽE V PRAXI

Posouzení kvality provedené injektážní clony neřadíme ke zcela jednoznačným a primitivním metodám.

Injektáže provedené v souladu se směrnicí WTA 4-4-04/D vykazují výraznější účinek provedené injektáže až po několika letech. Přesněji je to doba asi dvou let od aplikace injektáže, kdy je možné pozorovat výrazné vysušovací účinky. Nesmíme opomenout ani dokumentaci provedené injektáže. Tato dokumentace by měla obsahovat veškeré potřebné a důležité informace, kterými jsou zejména informace o zhotovitelské firmě, také o injektovaném zdivu. U zdiva jsou důležité informace především o materiálovém složení, stupni nasycení materiálu vodou, tloušťce stěny. Dále je nutné uvést uspořádání vrtů, jejich průměr, sklon a způsob utěsnění. V neposlední řadě nesmíme zapomenout na informaci o způsobu provedené injektáže a spotřebě materiálu. Účinnost provedené injektáže je poté možno provést na základě porovnání výsledků měření vlhkosti zdiva.

Na základě zkušeností bylo v článku [13] specifikováno několik zásad, které ochrání proti neodbornému a neobjektivnímu posuzování přítomnosti akrylátového gelu ve zdivu:

- Při odběru vzorků nezávislým pracovištěm je dobré vždy zajistit kromě standartního odběru duplicitní sadu vzorků, které budou zapečetěny za dohledu soudního znalce a přítomnosti notáře.

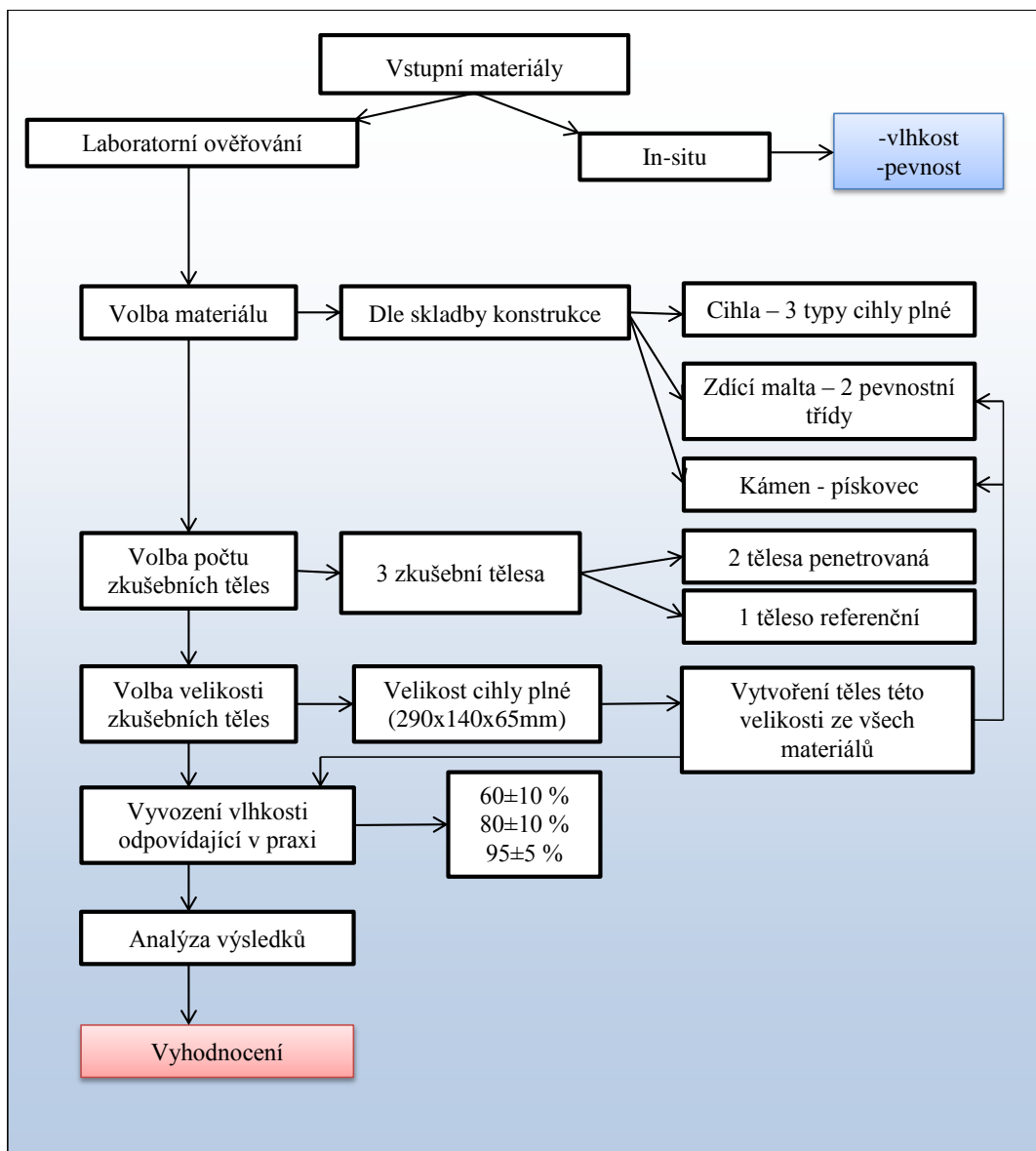
- Pro posuzování vzorků je ideální se shodnout na odborné nezávislé instituci a její odbornost je lépe si ověřit a nechat doložit formou písemných výstupů, které již byly v minulosti prováděny.
- Pokud neexistuje žádná odborná praktická zkušenost, je vhodné si vypracovat hodnotící kritéria a očekáváním, které je zapotřebí odsouhlasit a řídit se jimi.
- Pro správné posouzení je vždy lépe trvat na hodnocení formou znaleckého posudku a nikdy si nevystačit s formou expertní zprávy. Tato zpráva nemá potřebnou právní odpovědnost před soudem a není závazná.
- Okamžité hodnocení účinnosti chemické injektáže zpochybníme v souladu se směrnicí WTA 4-4-04/D, které udává výraznější viditelný vysušovací účinek až po dvou letech od aplikace a to při provádění injektáží v souladu s touto směrnicí.
- Pokud chceme prokazovat účinnost chemické injektáže musíme vždy postupovat v souladu se směrnicí WTA 4-4-04/D, kde je velice důležité změření vlhkosti zdiva před zahájením injektáže, pokud se tento krok neprovedeme, není možno provést srovnání pro účinnost provedené injektáže
- Prokázání gelu ve zdivu musíme provést vždy v souladu se směrnicí WTA 4-4-04/D, která pro identifikaci injektážního materiálu ve zdivu uvádí pouze spektrální červenou analýzu. Ostatní metody můžeme považovat pouze za průkazné.
- Je třeba brát v úvahu reversibilitu gelu, která bývá mezi 100 – 150 obj. % a také to, aby posuzovatel s tímto faktem uměl pracovat. [13]

4.5 NÁVRH METODIKY VÝZKUMU A VÝVOJE

4.5.1 Analýza vstupních materiálů

Metodika analýzy vstupních materiálů na schématu obrázku 12, spočívá v prvotním odzkoušení injektážního materiálu a posouzení účinnosti. Vstupní materiály je možné zkoušet laboratorně, ale také in-situ (přímo na místě). Výsledky zkoušení in-situ bývají často nepřesné a proto je zapotřebí je doplnit dalšími analýzami, nejlépe provedenými v laboratorním prostředí. Pro tato laboratorní ověřování je důležitá zejména správná volba materiálu. V námi zvoleném modelovém případě, se jedná o jednotlivé materiály, které konstrukce obsahuje (cihla, kámen, zdící malta). Odzkoušení je nutné na zdících prvcích, které se v dnešní době již k výstavbě používají jen výjimečně, ale přesto jsou stále součástí stávajících konstrukcí a proto je potřeba se

věnovat i těmto materiálům. Z každého materiálu obsaženého v konstrukci je nutné připravit tři zkušební tělesa pro zkoušení jednoho injektážního materiálu. Z těchto tří zkušebních vzorků se dva vzorky penetrují injektážním materiálem a třetí vzorek zůstává jako nepenetrovaný, pro referenční srovnávací účely. Velikost těles závisí na parametrech, které budou zjišťovány. Během analýz je nezbytné zabezpečit dostatečnou zkušební plochu jednotlivých těles. Pro první fázi byl zvolen rozměr těles 290x140x65 mm, který odpovídá velikosti klasické plné pálené cihly. Samotné vzorky tří vybraných typů cihel (cihla plná pálená, cihla děrovaná a cihla vápenopískových) jsou z výroby této požadované velikosti, pískovcové bloky byly do tohoto rozměru upraveny. Po zajištění požadovaného počtu a velikosti těles je možno přistoupit ke kondicionování zkušebních vzorků. Jde o proces vyvození požadované vlhkosti v tělese tak, aby bylo dosaženo stavu vlhkosti tělesa odpovídající vlhkosti v praxi. Po vyvození požadované vlhkosti na zkušebních tělesech vizuálně posoudíme, zda nedošlo k jakémukoliv znehodnocení nebo poškození vzorku. Pokud vzorek nebyl jakýmkoliv způsobem znehodnocen, můžeme přejít k další části metodiky a tou je metodika testování a vývoje.



Obrázek 12: Fáze I: Metodika analýzy vstupních surovin

4.5.2 Testování a vývoj

Po řádném kondicionování všech vzorků, se přechází k druhé fázi metodiky doložené schématem na obrázku 13, kterou je samotné testování. Jak již bylo zmíněno, ze tří zkušebních těles budou pouze dvě penetrována. Penetrace na vzorku bude prováděna pouze z na jedné lícové plochy o rozměrech 290x140 mm, ostatní plochy vzorku budou opatřeny epoxidem z důvodu následného omezení pronikající vlhkosti do vzorku pouze přes hydrofobizovanou stranu.

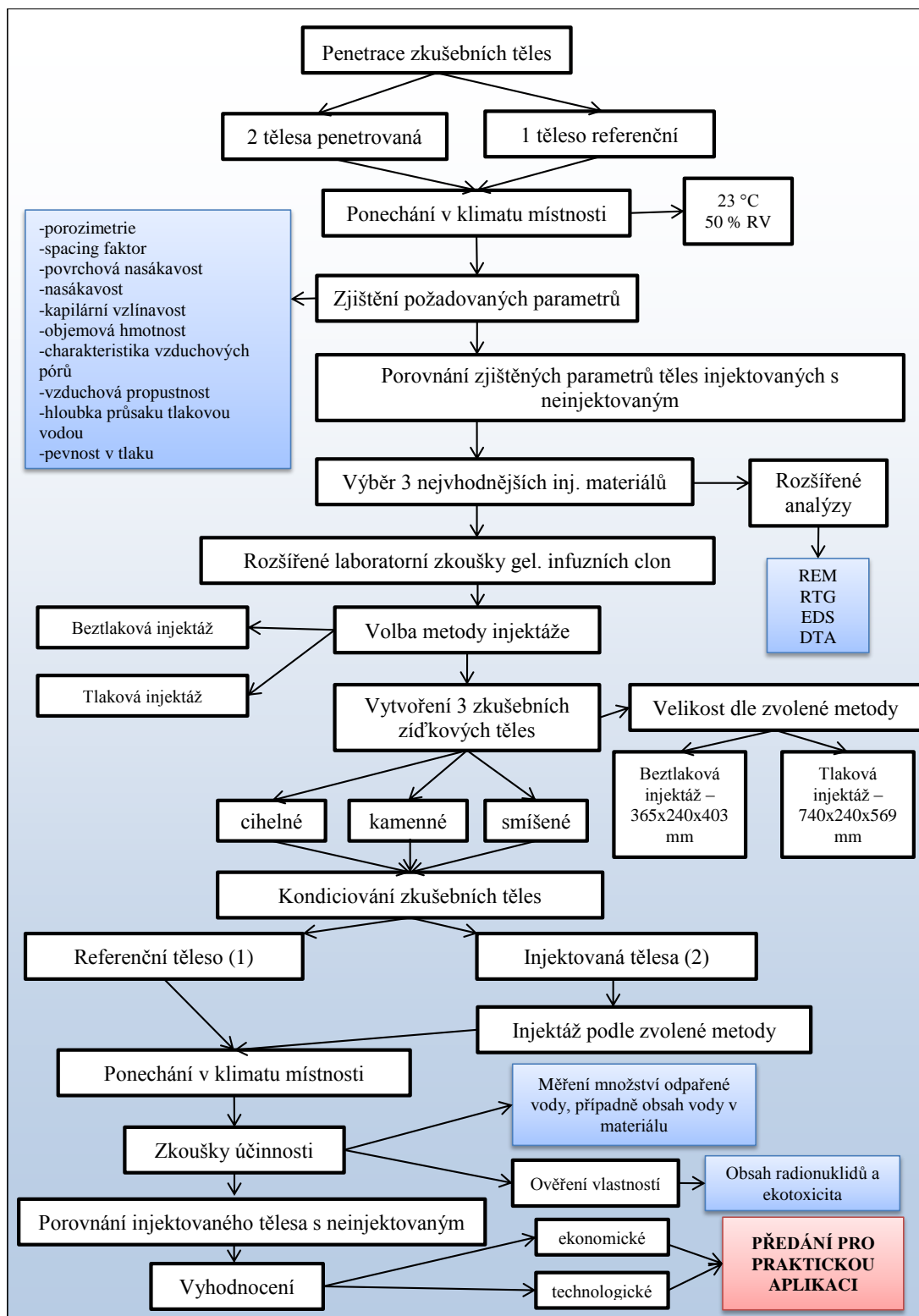
Po stanovené době, kdy budou tělesa ponechána v klimatu místnosti, budou zjišťovány požadované parametry, kterými jsou zejména pórovitost, povrchová nasákavost, nasákavost, kapilární vztlínavost, objemová hmotnost, charakteristika vzduchových pórů, vzduchová propustnost, hloubka průsaku tlakovou vodou, ale také i pevnost v tlaku. Tyto vlastnosti jsou zjištěny na všech zkušebních tělesech. Následně dojde k analýze výsledků a porovnání penetrovaných těles nově navrženým hydroizolačním materiálem s tělesem referenčním.

Na základě dosažených výsledků budou vybrány maximálně 3 perspektivní injektážní materiály, na kterých budou následně prováděny rozšířené laboratorní zkoušky. Na těchto třech nejvhodnějších injektážních materiálech budou dále provedeny rozšířená analýzy, kterými jsou REM, RTG, DTA a EDS, s cílem analyzovat vliv gelových infúzních hmot na strukturu konstrukčních materiálů.

Dále budou pro tyto tři injektážní materiály provedeny rozšířené laboratorní zkoušky. Tyto zkoušky spočívají ve volbě vhodné injektážní metody (tlakové nebo beztlakové) a vytvoření segmentu tří zkušebních těles dle typu injektáže, pro jeden zkoušený injektážní materiál. Tato zkušební tělesa jsou vytvořena buď z cihelného, smíšeného nebo kamenného zdiva, podle účelu použití vyvíjené gelové infúzní clony. Po vyzdění těles následuje jejich kondicionování na požadovanou vlhkost, které odpovídá vlhkosti konstrukce v praxi. Poté již může následovat provedení injektáže na dvou zkušebních těles, kdy se v tělese vytvoří systém vrtů, které se plní podle zvolené technologie zkoušeným injektážním materiálem. Po vyplnění těles injektážním materiálem následuje uložení těles v klimatu místnosti a po předepsané době mohou být započaty zkoušky účinnosti. Tyto zkoušky spočívají v měření množství odpařené vody, případně obsahu vody v materiálu u všech tří zkušebních těles. Výsledné hodnoty zjištěné na tělese injektovaném se zprůměrují a posoudí s výslednou hodnotou stanovenou na tělese referenčním. Rozdíl hodnot mezi původním a injektovaným stavem těchto tělesech, musí být alespoň 50 %, aby mohl být injektážní materiál zvolen za účinný. Po výběru nejvhodnější gelové infúzní clony

pro možnou finální produkci budou provedeny zkoušky stanovující obsah přírodních radionuklidů, a ekotoxicitu, nutné pro finální certifikaci výrobku k výrobě a prodeji.

Po zjištění veškerých parametrů, dojde k výslednému vyhodnocení, kde je zapotřebí zhodnotit a ekonomická a technologická kritéria, jež mohou ovlivnit finální předání navrženého injektážního materiálu pro praktickou aplikaci.



Obrázek 13: Fáze II: Metodika testování a vývoje

5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl návrh ucelené metodiky pro vývoj a výzkum nových způsobů hydroizolačních clon včetně metodiky posuzování její účinnosti.

V souvislosti s použitím hydroizolačních clon byly v teoretické části zpracovány podklady zabývající se degradací stavebních materiálů, vlhkosti působící nejen v samotné konstrukci, ale také v jejím blízkém okolí a současné trendy dodatečné hydroizolace staveb. Jednotlivé metody, pomocí nichž se snižovala vlhkost stavebního díla, jsou v práci zjednodušeně popsány. Mezi nimi byla popsána i velmi progresivní metoda současnosti, takzvaná metoda gelových infúzních clon. Jedná se o metodu dodatečného snižování vlhkosti pomocí vytvoření bariéry zabráňující postupu vlhkosti v dané konstrukci. **Bariéra vzniká díky vytvoření systému vrtů do zdi, které se následně plní chemickým roztokem, jež v konstrukci proniká do pórů a spár a následně je díky vzniklé chemické reakci utěšňuje.** Tato metoda chemické infúzní clony si našla své uplatnění ve stavební praxi zejména díky své časové nenáročnosti a jednoduchosti provádění.

V praktické části bakalářské práce byly v úvodu zpracovány vlastnosti gelových infúzních clon a názor na jejich aplikace. V rámci průzkumu trhu bylo vyhledáno spektrum firem zabývajících se v ČR výrobou a dodáváním injektážních materiálů pro sanační práce (viz. sekce 4.1.5). Metoda chemické infúzní clony lze provést beztlakou i tlakovou infúzí, z čehož plynou i omezení technologie, popsaná v sekci 4.1.4 .

Jelikož je problematika chemických infúzních clon relativně nová a rychle se rozvíjející, ve stavební praxi stále neexistuje jednotná metodika zkoušení aplikovaných hmot v konstrukcích, potažmo i případného vývoje nových gelových injektážních hmot, a následné ověření jejich účinnosti ve stavební praxi. **Proto byla na základě analýzy norem, směrnic a zkušebních postupů, navržena v této bakalářské práci metodika vývoje nových gelových injektážních hmot, a následné ověření jejich účinnosti ve stavební praxi.** Celé metodika byla rozdělena na dva výzkumné kroky:

- Analýza vstupních materiálů
- Testování a vývoj

Metodika analýzy vstupních materiálů na schématu obrázku 12, spočívá v prvotním odzkoušení injektážního materiálu a posouzení účinnosti. Z každého materiálu obsaženého

v konstrukci (cihla, kámen, zdící malta) je nutné připravit tři zkušební tělesa pro zkoušení jednoho injektážního materiálu. Z těchto tří zkušebních vzorků se dva vzorky penetrují injektážním materiálem a třetí vzorek zůstává jako nepenetrovaný, pro referenční srovnávací účely. Velikost těles závisí na parametrech, které budou zjišťovány. Během analýz je nezbytné zabezpečit dostatečnou zkušební plochu jednotlivých těles. Pro první fázi byl zvolen rozměr těles 290x140x65 mm, který odpovídá velikosti klasické plné pálené cihly. Po zajištění požadovaného počtu a velikosti těles je možno přistoupit ke kondicionování zkušebních vzorků, vyvození požadované vlhkosti v tělese tak, aby bylo dosaženo stavu vlhkosti tělesa odpovídající vlhkosti v praxi. Po vyvození požadované vlhkosti na zkušebních tělesech vizuálně posoudíme, zda nedošlo k jakémukoliv znehodnocení nebo poškození vzorku. Pokud vzorek nebyl jakýmkoliv způsobem znehodnocen, můžeme přejít k další části metodiky a tou je metodika testování a vývoje.

Po řádném kondicionování všech vzorků, se přechází k druhé fázi metodiky doložené schématem na obrázku 13, kterou je samotné testování. Jak již bylo zmíněno, ze tří zkušebních těles budou pouze dvě penetrována. Penetrace na vzorku bude prováděna pouze z na jedné lícové plochy o rozměrech 290x140 mm, ostatní plochy vzorku budou opatřeny epoxidem z důvodu následného omezení pronikající vlhkosti do vzorku pouze přes hydrofobizovanou stranu. Po stanovené době, kdy budou tělesa ponechána v klimatu místnosti, budou zjišťovány požadované vlhkově-pevnostní charakteristiky za využití zkoušek:

- Stanovení vztlínivosti (ČSN 73 1357)
- Stanovení okamžité vlhkosti (ČSN 73 1357)
- Stanovení nasákavosti varem (ČSN EN 772-7)
- Stanovení pórovitosti
- Stanovení pevnosti v tahu za ohybu (ČSN EN 196-1)
- Stanovení pevnosti v tlaku (ČSN EN 196-1)
- Stanovení prostupu vodních par povrchovou úpravou (ČSN 73 2580)
- Stanovení vodotěsnosti povrchové úpravy (ČSN 73 2578)
- Hloubky průsaku tlakovou vodou (ČSN EN 12390-8)
- Stanovení charakteristik vzduchových pórů (ČSN EN 480-11)
- Stanovení vzduchové propustnosti
- Elektronová rastrovací mikroskopie (REM)
- Počáteční povrchová nasákavost
- Rentgenová difrakční analýza (RTG)
- Energodisperzní spektrometrie (EDS)

Následně dojde k analýze výsledků a porovnání penetrovaných těles nově navrženým hydroizolačním materiálem s tělesem referenčním. Na základě dosažených výsledků budou vybrány maximálně 3 perspektivní injektážní materiály, na kterých budou následně prováděny rozšířené laboratorní analýzy, kterými jsou REM, RTG, DTA a EDS, s cílem analyzovat vliv gelových infúzních hmot na strukturu konstrukčních materiálů.

Dále budou pro tyto tři injektážní materiály provedeny rozšířené laboratorní zkoušky za využití upravené metodiky směrnice WTA 4-4-04/D – Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. Tyto zkoušky spočívají ve vytvoření segmentu tří zkušebních těles dle typu injektáže, simulujících zděnou stěnu. Ty jsou následně zainjektovány navrženým materiálem a zkoušeny na změnu vlhkosti tělesa. Výsledné hodnoty se porovnají s tělesem referenčním (nezainjektovaným). Rozdíl hodnot mezi původním a injektovaným stavem těchto tělesek, musí být alespoň 50 %, aby mohl být injektážní materiál zvolen za účinný.

Po výběru nejvhodnější gelové infúzní clony pro možnou finální produkci budou provedeny zkoušky stanovující obsah přírodních radionuklidů, a ekotoxicitu, nutné pro finální certifikaci výrobku k výrobě a prodeji. Po zjištění veškerých parametrů, dojde k výslednému vyhodnocení, kde je zapotřebí zhodnotit i ekonomická a technologická kritéria, jež mohou ovlivnit finální předání navrženého injektážního materiálu pro praktickou aplikaci.

*Uvedená problematika je řešena v rámci projektu **MPO FR-TI4/270** s názvem: Gelový infúzní clonový systém pro dodatečnou hydroizolaci různých druhů zdiva s využitím druhotných surovin.*

Použitá literatura a normy

- [1] BALÍK, M.. *Odvhlčování staveb*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008, 307 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2693-9
- [2] VLČEK, M., BENEŠ P.. *Poruchy a rekonstrukce staveb II*. Vyd. 1. Brno: ERA group, 2005, 129 s. ISBN 80-736-6013-X
- [3] BLAHA, M. BUKOVSKÝ.L.. *Prevence a odstraňování vlhkosti*.Vyd.1. Brno: ERA group, 2004, 112 s. ISBN 80-86517-48-9
- [4] PYTLÍK, P.. *Technologie betonu*. 2. vydání. Brno: VUTIUM, 2000, 329 s. ISBN 80-214-1647-5.
- [5] DROCHYTKA, R., DOHNÁLEK, J., BYDŽOVSKÝ. J., PUMPR. V., DUFKA. A., DOHNÁLEK. P.. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TPSSBK III*. Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012, 265 s. ISBN 978-80-260-2210-7.
- [6] BYDŽOVSKÝ, J.. *Vlastnosti a užití stavebních materiálů v konstrukcích. Studijní opory*. Brno, 2007. VUT v Brně, fakulta stavební
- [7] DROCHYTKA, R.. *Trvanlivost stavebních materiálů: Studijní opory*. Brno, 2007. VUT v Brně, fakulta stavební.
- [8] ROVNANÍKOVÁ, P. *Stavební chemie*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 48 s. ISBN 80-720-4410-9
- [9] DOHNÁLEK, P., BOHUŠ Š.. *Roční výzkumná zpráva o řešení projektu MPO FR-TI4/270: Gelový infuzní clonový systém pro dodatečnou hydroizolaci různých druhů zdiva s využitím druhotných surovin*. Brno, 2012. VUT v Brně, fakulta stavební.
- [10] DUFKA, A., NOVÁK, J.. *Laboratorní experimentální metody: Studijní opory*. Brno, 2007. VUT v Brně, fakulta stavební.
- [11] KANIA. P.. *Infračervená spektroskopie*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. [online]. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z:
[/http://www.vscht.cz/ktk/www_324/lab/texty/ana/IC.pdf](http://www.vscht.cz/ktk/www_324/lab/texty/ana/IC.pdf)

- [12] KOTLÍK, P., DOBRAVOVÁ, K., *Koroze a degradace stavebních materiálů*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav chemické technologie restaurování památek. [online]. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z:
http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/2_4.pdf.
- [13] Čeliš P., *Jak posoudit kvalitu a účinnost provedených akrylgelových injektáží ve stavební praxi*, Stavebnictví a interiér 10/2011, [online]. [cit. 2013-04-07]. Dostupné z:
<http://www.stavebnictvi3000.cz/jak-posoudit-kvalitu-a-ucinnost-akrylgelovych-injektazi-ve-stavebni-praxi>
- [14] HRÓZ, F., *Izolace a sanace vlhkých budov*, [online]. [cit. 2013-04-07]. Dostupné z:
<http://www.izolacehroz.cz>
- [15] VŠB-TU OSTRAVA, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. *Rtuťová porozimetrie AUTOPORE 9500*. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z:
<http://katedry.fmmi.vsb.cz/615/porozimetrie.htm>
- [16] KUCHARCZYKOVÁ, B., VUT v Brně, *Ověřování kvality povrchových vrstev betonu*, [online]. [cit. 2013-04-07]. Dostupné z:
<http://szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI03/Zku%C5%A1ebn%C3%AD%20metody%20pro%20trvanlivost%20betonu.pdf>
- [17] Chempoint, *Není povrch jako povrch – EDS, WDS a EBSD*, [online]. [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/neni-povrch-jako-povrch>
- [18] PETROVÁ K., Státní úřad pro jadernou bezpečnost, *Radiační ochrana*, [online]. [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/stavebni_materialy.pdf
- [19] *Agua saning*, [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z:
<http://www.aquasaning.cz/content/sanipol.html> [online]. [cit. 2013-05-15].
- [20] WTA směrnice 4-4-04/D: Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. Praha: Tauris, 2005. ISBN 80-02-01773-0.
- [21] ČSN P 730610, Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení

- [22] ČSN EN 772-11: Část 11: Stanovení nasákavosti betonových tvárnic a zdících prvků z umělého a přírodního kamene vlivem kapilarity a počáteční rychlosti nasákavosti pálených zdících prvků
- [23] ČSN 73 1357: Stanovení kapilárních vlastností pórobetonu
- [24] ČSN 732580, Zkouška prostupu vodních par povrchovou úpravou stavebních konstrukcí
- [25] ČSN 73 2580: Zkouška prostupu vodních par povrchovou úpravou stavebních konstrukcí
- [26] ČSN 73 2578: Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí
- [27] ČSN EN 12390-8: Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubky průsaku tlakovou vodou
- [28] ČSN EN 480-11: Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební postupy – Část 11: Stanovení charakteristik vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu

Seznam tabulek

Tabulka 1: Obecné schéma provádění zkoušky podle směrnice WTA 4-4-04/D [20]

Seznam obrázků

Obrázek 1: Příčiny vlhnutí zdiva [1]	17
Obrázek 2: Schéma podřezávání řetězovou pilou	25
Obrázek 3: Schéma provádění metody MASSARI [2]	26
Obrázek 4: Schéma působení hydroizolační clony [19]	29
Obrázek 5: Metodika praktické části	31
Obrázek 6: Šikmá infúzní clona s návazností na hydroizolaci podlahy 1. PP [1]	33
Obrázek 7: Provádění plošné injektáže [13]	34

Obrázek 8: Provádění vodorovné injekce [13]	34
Obrázek 9: Schéma beztlakové infúze [2]	35
Obrázek 10: Schéma provádění infúze s hydrostatickým tlakem [2]	35
Obrázek 11: Schéma tlakové injekce [9]	36
Obrázek 12: Fáze I: Metodika analýzy vstupních surovin	47
Obrázek 13: Fáze II: Metodika testování a vývoje	50

Seznam použitých zkratek a symbolů

CaO	oxid vápenatý
Ca(OH) ₂	hydroxid vápenatý
CaCO ₃	uhličitan vápenatý
CaSO ₄	sádrovec
MgSO ₄	síran hořečnatý
PVC	Polyvinylchloride
pH	potential of hydrogen (potenciál vodíku)
REM	rastrovací elektronový mikroskop
RTG	rentgenová difrakční analýza
EDS	energdisperzní spektrometrie